

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕ-
ЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(СПбГУ)

Институт Наук о Земле
Кафедра экологической безопасности и устойчивого развития регионов

Вавилова Татьяна Евгеньевна

**Состав низкомолекулярного метаболома *Elodea canadensis* Michx. в водоёмах раз-
личных географических регионов**

Выпускная бакалаврская работа
по направлению 022000 «Экология и природопользование»

Научный руководитель:
к.г.н., доцент кафедры
экологической безопасности
и устойчивого развития регионов
Крылова Юлия Викторовна

«__» _____ 2017

И.о. заведующего кафедрой:
к.т.н., доцент кафедры
экологической безопасности
и устойчивого развития регионов
Бобылев Николай Геннадьевич

«__» _____ 2017

Санкт-Петербург
2017

Содержание

Введение.....	3
Глава 1. Литературный обзор.....	4
Глава 2. Описание объектов исследования.....	7
2.1. Элодея канадская (<i>Elodea canadensis</i> Michx.).....	7
2.2. Элодея Натталя (<i>Elodea nuttallii</i> (Planch.)).....	8
2.3. Краткая физико-географическая характеристика регионов.....	9
2.3.1. Приозерский район. Озёра Большое Боровское и Безымянное.....	9
2.3.2. Ладожское озеро. Остров Валаам.....	11
2.3.3. Земля Северный Рейн-Вестфалия (Nordrhein-Westfalen), озеро Унтербахер-Зее, Германия.....	12
Глава 3. Материал и методы.....	13
Глава 4. Результаты и обсуждение.....	17
4.1. Компонентный состав элодеи Натталя.....	17
4.2. Компонентный состав элодеи канадской в озере Большое Боровское.....	21
4.3. Компонентный состав элодеи канадской в озере Безымянное.....	25
4.4. Компонентный состав элодеи канадской в озере Ладожское.....	29
4.5. Сравнение и оценка различий в составе НОС элодеи Натталя и элодеи канадской, произрастающих в водоёмах различных географических регионов.....	32
Заключение.....	37
Список литературы.....	38

Введение

В последнее время всё большее значение приобретают исследования, выясняющие особенности экологического равновесия в биосфере и механизмы его поддержания и нарушения, в том числе такие механизмы, в которых участвуют различные органические вещества, в особенности вторичные метаболиты [11].

На современном этапе развития водной экологии стал очевидным тот факт, что летучие низкомолекулярные органические вещества (ЛНОВ), синтезируемые водными растениями (макрофиты и водоросли), участвуют в регуляции разнообразных процессов взаимодействия между водными организмами. Функциональная роль ЛНОВ, продуцируемых макрофитами, чрезвычайно разнообразна: 1) защитная роль; 2) привлечение; 3) роль информационных медиаторов; 4) питательная среда и стимуляция деятельности микроорганизмов, обитающих на поверхности растений и в воде; 5) аллелопатическая роль; 6) антимикробная активность и подавление патогенных организмов. Многие ЛНОВ, выделяемые из растений в составе эфирного масла, широко используются в фармакологии, медицине, косметологии, так как обладают выраженными антибактериальными, антифунгальными, иммуностимулирующими и другими полезными свойствами. В основном, биологически активные эфирные масла получают из наземных растений, водные макрофиты в этом отношении исследованы слабо. [5].

В данной работе будет изучен состав вторичных метаболитов *Elodea canadensis* Michx. и *Elodea nuttallii* (Planch.) в водоемах различных географических регионов, будет проведена сравнительная характеристика метаболитного состава эфирных масел данных растений.

Целью работы является определение НОС и их функциональной роли в рассматриваемых водоемах.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие задачи:

1. Отобрать и подготовить для изучения образцы элодеи канадской из оз. Большое Боровское, Безымянное и Ладожское, элодеи Натталя из оз. Унтербахер-Зее;
2. Выделить эфирные масла, содержащие НОС, и провести их хромато-масс-спектрометрический анализ;
3. По полученным хромато-масс-спектрограммам идентифицировать НОС, входящие в состав эфирных масел элодеи канадской и элодеи Натталя;
4. Произвести сравнительный анализ качественных и количественных различий в составе НОС элодеи канадской и элодеи Натталя в водоёмах различных географических регионов.

Глава 1. Литературный обзор

Термины "вторичные метаболиты" и "вторичный метаболизм" вошли в терминологический аппарат биологов более ста лет назад после появления работ профессора Косселя. В частности, в работе «О химическом составе клеток», им было предложено разделить составляющие клетку вещества, на первичные и вторичные. «В то время как первичные метаболиты присутствуют в каждой растительной клетке, способной к делению, то вторичные метаболиты присутствуют в клетках только «нечаянно» и не необходимы для жизни растения. Случайное распространение этих соединений, их нерегулярное нахождение в близких видах растений, вероятно, свидетельствует о том, что их синтез связан с процессами, не являющимися неотъемлемыми для каждой клетки, а имеющими скорее вторичный характер» (URL, 11).

Понятие «первичных» и «вторичных» компонентов клетки было введено немецким биологом Альбрехтом Косселем в 1891 г. К настоящему моменту идентифицировано более 100000 индивидуальных веществ вторичного метаболизма. Данные соединения имеют функциональное значение на уровне всего растения, в отличие от первичных метаболитов, выполняющих различные функции на уровне клетки. Чаще всего вторичные метаболиты выполняют «экологические» функции, т.е. защищают растение от различных вредителей и патогенов, участвуют в размножении растений, придавая окраску и запах цветам и плодам, обеспечивают взаимодействие растений между собой и с другими организмами в экосистеме.

Признаки вторичных метаболитов:

- обладают биологической активностью;
- присутствуют не во всех растениях;
- имеют относительно небольшой молекулярный вес;
- синтезируются из небольшого набора исходных соединений (URL, 12).

Многообразие экологических функций вторичных метаболитов связано и с тем, что эти вещества обладают различными механизмами действия: одни - снижают доступность растительного материала для поедания (горечи, ингибиторы пепсина и трипсина), другие направлены на подавление «противника» – ингибируются ключевые ферменты «проникновения» (целлюлазы фитопатогенов), нарушается онтогенез и, в частности, репродуктивная функция насекомых через синтез ювенильных гормонов, известны случаи прямого влияния на дифференциальную экспрессию генов.

Накопление вторичных метаболитов в значительной степени определяется условиями среды. Этот контроль осуществляется как на уровне макроэкологических различий ме-

стообитаний (широта, долгота, аридность, высотная поясность), так и на уровне ландшафтных флуктуаций типов почв, содержания питательных веществ и микроэлементов.

Под влиянием условий среды меняется как количественный, так и качественный состав вторичных метаболитов. Давно известны факты, интерпретируемые как «географичность природных веществ». Так, синтез некоторых веществ (кумарины, фенольные соединения и др.) зависит от «солярных зон», сменяющихся по широтам от зон ультрафиолетового дефицита (высокие широты) до зон УФ-избытка на юге. Вторичные метаболиты образуются в ответ на изменения температуры (тепловой и холодовой стресс), влажности, наличия/отсутствия эдафических факторов, включая микроэлементы (URL, 14).

Не для всех исследованных вторичных метаболитов удалось понять их функции. Есть и вроде бы совсем ненужные вещества. Есть такие, которые больше похожи на «отходы» первичного метаболизма. Другие, наоборот, играют огромную роль в жизни растения. Среди вторичных метаболитов есть пигменты – окрашенные вещества. Какие-то соединения используются растениями в качестве запасных, и из них можно получить недостающие вещества первичного метаболизма. Есть защитные соединения – например, яды, предотвращающие поедание растения. Среди вторичных метаболитов встречается даже функция нападения – некоторые растения выделяют в почву определенные вещества, препятствующие прорастанию семян других растений. Таким образом растение избавляется от конкуренции за свет, за питательные вещества почвы. Специальными вторичными метаболитами растения привлекают бактерий (бобовые, орхидеи).

Таким образом, вторичные метаболиты в большинстве своем выполняют функцию «общения» растения с окружающей средой.

Исследования влияния различных химических соединений на биологические молекулы, в том числе на ферменты, весьма актуальны в настоящее время, поскольку они дают возможность выявить новые тест-функции для мониторинга окружающей среды (URL, 13).

Моделирование экологических процессов и проведение эколого-биохимических исследований включает в себя разработку моделей для понимания, предсказания и оценки нынешних и вероятных будущих воздействий и реагирования экосистем на множество стрессов на разных уровнях (URL, 13).

Одна из самых значительных проблем, с которой столкнулось человечество в конце XX в. – нарастающий дефицит чистой пресной воды. Значительная часть водных экосистем под воздействием антропогенных факторов функционирует в режиме высоких нагрузок химическими, радиоактивными и иными поллютантами. Высшим водным растениям (ВВР) отводится ведущая роль в регуляции потоков углерода, растворимых минеральных веществ и кислорода в пресноводных экосистемах. К настоящему времени доказано участие водных

растений в процессах очищения водоемов, загрязненных тяжелыми металлами, нефтепродуктами, пестицидами и радионуклидами (URL, 15).

Среди погруженных в воду растений очень высокие способности к биоочистке демонстрирует элодея канадская *Elodea canadensis* Michx. Элодея чаще всего образует плотные чистые заросли. Средняя сырая биомасса ее ценозов $3,6 \text{ кг/м}^2$, абсолютно сухая - $0,37 \text{ кг/м}^2$, запас органического вещества - $0,305 \text{ кг/м}^2$. Максимальная биомасса в сыром виде - $6,25 \text{ кг/м}^2$ (Папченков, 2001). Широко известны свойства элодеи извлекать из воды различные вещества и химические элементы. В присутствии элодеи канадской наблюдается активное разложение нефти. В эксперименте в сосудах с элодеей при концентрации нефти 1 г/л воды уже на 26-й день от нефти было свободно 50% площади (URL, 16).

Элодея канадская (*Elodea canadensis*). Родина — Северная Америка. Одно из самых распространенных на Земле водных растений. На территории Европейской части России распространено повсеместно. Из-за своей способности очень быстро расти и плотно заполнять водоемы получило название “водяная чума”. Очень неприхотливое растение. Растет, свободно плавая в толще воды, в течение всего года.

Элодея канадская — одно из немногих растений, распространение которого за пределами естественного ареала, в частности, в Северной Евразии, прослежено относительно хорошо. Этому способствовали общая немногочисленность видов собственно водных растений, хорошая узнаваемость растения в природе и обычно «взрывной» характер заселения им водоемов.

Впервые достоверно элодея была занесена в Европу в 1836 г., позднее появилась в Азии, Африке и Австралии. Натурализовалась в Европе, Северной и Южной Африке, Северной и Восточной Азии, на юго-востоке и севере Австралии, в Новой Зеландии, Мексике, Центральной и Южной Америке, на Гавайских островах (URL, 17).

Интерес к распространению *E. canadensis* в пределах Российской империи появился уже в конце XIX — начале XX века. (URL, 17).

Первоначальными агентами заноса вида, вероятно, являются аквариумисты и ботанические сады. Впоследствии распространение элодеи канадской было связано преимущественно с водным транспортом: попадание обрывков стеблей в кожухи колесных пароходов и щели деревянных барж, перевозки речного песка и щебня. На локальном уровне из водоема в водоем диаспоры элодеи могут переноситься на сетевых орудиях лова, лапах водоплавающих и околоводных птиц, конечностях крупных зверей (URL, 17).

Глава 2. Описание объектов исследования.

2.1 Элодея канадская (*Elodea canadensis* Michx.)

Элодея канадская, или Анахарис — водное растение; вид рода Элодея (*Elodea*). Научная классификация растения:

Домен: Эукариоты

Царство: Растения

Отдел: Цветковые

Класс: Однодольные

Порядок: Частухоцветные

Семейство: Водокрасовые

Род: Элодея

Вид: Элодея канадская.

Элодея канадская (народные названия: Водяная зараза, Водяная чума) пускает длинные, сильно разветвлённые стебли, растущие чрезвычайно быстро и достигающие нередко длины более двух метров. Стебель, сначала плавающий, легко укореняется, пуская длинные, до 40 см ризоиды. Корни отсутствуют. Стебли эти очень длинные, тонки, ломки и покрыты продолговато-линейными листочками, которые расположены довольно густыми мутовками, по три листа в каждой.

Листочки ярко-зелёные, прозрачные, от продолговато-яйцевидных до линейно-ланцетных, слегка курчавые, острые, по килю мелкопильчатые. В макушечных частях стебля листочки бывают всегда светлее окраской, нежели в нижних.

Растение двудомное: женские и мужские цветки и расположены на отдельных особях. Женские цветки одиночные небольшие, состоят из шести лепестков, трёх внутренних и трёх наружных, и сидят на длинных нитевидных цветоножках, три рыльца их ярко-малиновые и бахромчатые. Чашелистиков три, они красноватые или зеленоватые. Цветки эти распускаются не ранее как цветоножка достигнет поверхности воды. Мужские цветки почти сидячие, с девятью сидячими пыльниками, во время цветения отрывающимися от материнского растения, или же на удлиняющейся цветоножке, достигающие поверхности водоёма. Завязь с тремя—двадцатью семязачатками (URL, 1).

Элодея канадская — североамериканское плюризональное водное растение, характерное для большинства умеренных районов США и Канады (URL, 2). Из Северной Америки элодея канадская распространилась практически на все континенты. Впервые достоверно элодея была занесена в Европу в 1836 г., позднее появилась в Азии, Африке и Австралии. В бассейне Невы вид впервые обнаружен в 1881-1882 гг., и за последующие 10 лет широко

распространился по всей Петербургской губернии. Вероятно, в это же время произошло вселение и натурализация элодеи и в Невской губе (URL, 3).

Одно из русских названий этого растения - водяная чума, поскольку при массовом развитии она сплошь покрывает весь водоем, вытесняя аборигенные виды водных растений. Произрастает элодея обычно большими группами. Элодея канадская - многолетнее растение (URL, 4).

В России, как и в Западной Европе, растения с мужскими цветками не встречаются, а имеются только одни женские экземпляры (URL, 1). Поэтому в этих регионах элодея канадская размножается и распространяется только вегетативно - частями ломких побегов. Производит большую зелёную массу (URL, 4).

Элодея канадская - вид с широчайшей экологической амплитудой, встречающийся в разнообразных водоемах и водотоках: реках, прудах, материковых и пойменных озерах, ручьях, каналах, а также в головных частях заливов водохранилищ и даже в мочажинах болот. Обычно предпочитает песчаные или илистые грунты; плохо переносит волнобой (URL, 3).

2.2 Элодея Натталя (*Elodea nuttallii* (Planch.))

Элодея Натталя — водное растение; вид рода Элодея (*Elodea*). Научная классификация растения:

Домен: Эукариоты

Царство: Растения

Отдел: Цветковые

Класс: Однодольные

Порядок: Частухоцветные

Семейство: Водокрасовые

Род: Элодея

Вид: Элодея Натталя.

Первичный ареал вида элодея Натталя - Северная Америка. Завезён в Европу и Японию. В России не встречается. Растет в водоемах со стоячей или медленным течением водой, богатой известью, иногда и слабосоленовой. Зимует спящими почками на дне, последние весной дают новые побеги, которые на поверхности воды сильно ветвятся. В Северной Америке часто переплетаются с *E. canadensis* (URL, 5).

Элодея Натталя - многолетнее водное растение. Стебель ползучий или прямостоячий толщиной примерно 1 мм, разреженно покрытый листьями, мягкий. Первичные листья супротивные, верхние мутовки обычно 4-5-уровневые. Боковые побеги на узлах с простыми

листовыми мутовками длиной до 8 мм, шириной 2 мм, сильно отогнутые книзу, прозрачные, блекло-темно-зеленого цвета, с одной жилкой. Чешуйки у основания листа. Край листа зубчатый. Верхушка листа с одним зубчиком. Растение двудомное, реже однодомное. Нектарники отсутствуют. Мужские цветки не длиннее 4 мм. Имеет 3 зеленых чашелистика, 3 лепестка намного уже и мельче чашелистиков, очень тонкие, неприметные, белые. Мужские цветки почти сидячие. Обычно 9 тычинок, тычиночная нить очень короткая. Чашелистики и лепестки женских цветков подобны мужским, 3 стаминодия и 3 пестика, обычно раздвоенных, короче 2 мм (URL, 5).

2.3 Краткая физико-географическая характеристика регионов

2.3.1 Приозерский район. Озёра Большое Боровское и Безымянное

Приозерский район Ленинградской области расположен в северо-восточной части Карельского перешейка. На севере он граничит с Карелией, на западе и юге – с Выборгским и Всеволожским районами. С востока территория района омывается Ладожским озером. Территория расположена в пределах Вуоксинской и Приладожской низменностей. Районный центр – город Приозерск – расположен в 130 км севернее от Санкт-Петербурга на северо-западном берегу Ладожского озера.

Рельеф Приозерского района очень своеобразен. Территория приурочена к зоне контакта Балтийского щита и Русской равнины. На сравнительно небольшом пространстве происходит быстрая смена рельефа от грядово-ложбинного в северной части района к мелкобугристому на общем равнинном фоне в центральной части района, и к волнистому – на юге.

Северная часть района находится в области наиболее высоких колебаний высот с выходом на поверхность кристаллических пород. На формирование рельефа значительное влияние оказал последний ледник. Для грядово-ложбинного рельефа данной части района характерно чередование узких вытянутых преимущественно с северо-запада на юго-восток впадин с облесенными грядами, вытянутыми в том же направлении. Ложбины часто заполнены водой, образуя многочисленные озера. Именно в этой части района располагаются указанные озёра.

Климатические условия района определяются его географическим положением. Он расположен в северо-западной части Ленинградской области, в полосе умеренных широт (в пределах 61 с.ш.), где отчетливо проявляется влияние Атлантического океана. Климат района - умеренно-континентальный. Характеризуется избыточным увлажнением вследствие влияния влажных воздушных масс и низкой дренажной способностью подстилающей поверхности (близкое залегание кристаллических пород Балтийского щита).

Своеобразие растительного покрова Приозерского района заключается в том, что он находится на границе двух подзон: средней и южной тайги. Наряду с северными видами растений здесь встречаются представители более южной флоры.

Самые типичные почвы для Приозерского района – подзолистые. Они распространены под сосновыми и еловыми лесами. В условиях избыточного увлажнения формируются болотные почвы. В этих условиях процессы минерализации растительных остатков заторможены, что способствует накоплению торфа.

Фауна района относительно молодая. Все обитающие здесь животные распространились уже после отступления ледника. Они продвигались сюда с юга – со стороны степей и юго-запада – из области европейских широколиственных лесов. (URL, 6)

Озеро Большое Боровское расположено примерно в 4 км юго-восточнее ж/д станции Кузнечное, в 11 км северо-западнее Приозерска. (Рис. 1) Озеро имеет вытянутую с запада на восток форму. Длина водоема оставляет около 3-х км, а ширина достигает 600 метров. Рельеф дна разнообразный с максимальными глубинами до 10-ти метров. Средние же отметки глубин в водоеме составляют 3-6 метров. Площадь поверхности водоёма около 1,5 км². Озеро Боровское соединяется протокой с озерно-речной системой Вуокса, благодаря чему водоем имеет постоянную подпитку свежей водой, а также сюда периодически заходит различная рыба, некоторая из которой остается в озере. Вода озера Боровское имеет коричневатый оттенок, а ее прозрачность составляет около полутора метров. Берега водоема различные. Имеются холмистые участки, есть невысокие скальные выходы. Также встречается отлогий берег, местами несколько заболочен. Водная растительность в озере Боровское развита умеренно (URL, 7).

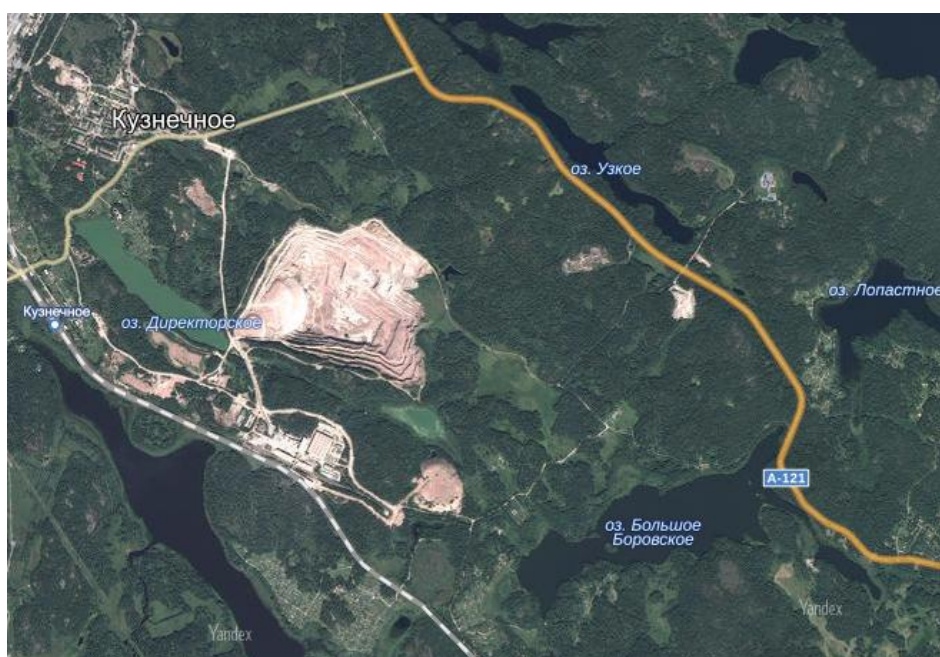


Рис. 1. Спутниковый снимок озера Большое Боровское.

Озеро Безымянное располагается в 1,7 км к северо-востоку от ж/д станции Кузнечное. (Рис. 2) Его площадь около 250 м².

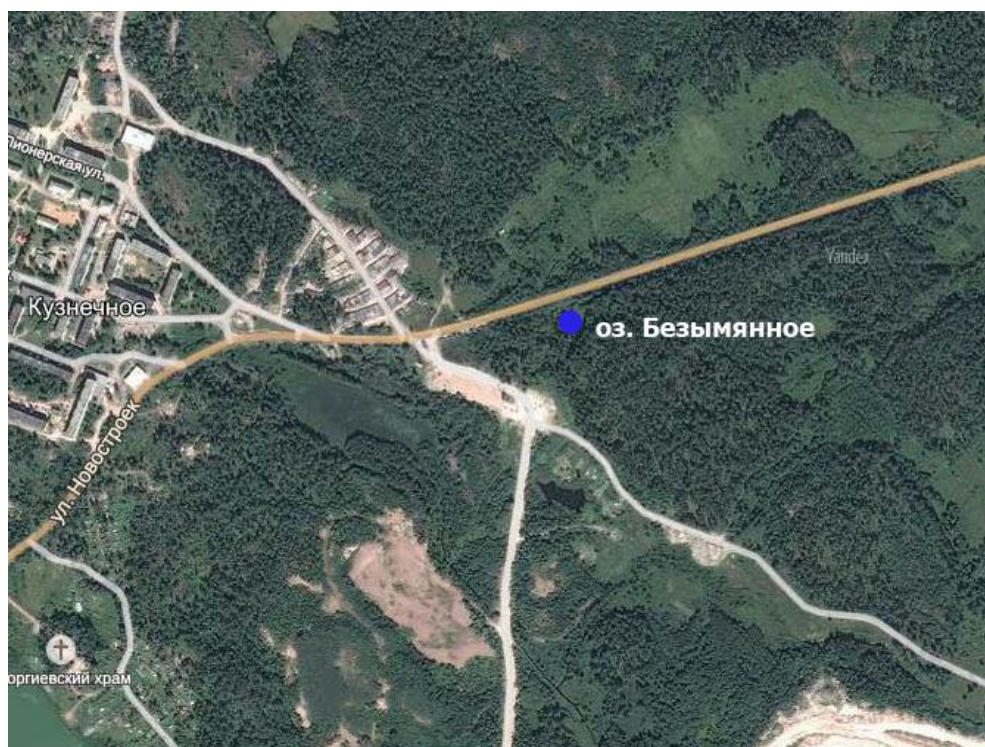


Рис. 2. Спутниковый снимок озера Безымянное.

2.3.2 Ладожское озеро. Остров Валаам

Ладожское озеро (также Ладога; историческое название — Нево) — озеро в Республике Карелия (северный и восточный берег) и Ленинградской области (западный, южный и юго-восточный берег), крупнейшее пресноводное озеро в Европе (рис. 3).

Относится к бассейну Балтийского моря Атлантического океана. Площадь озера без островов составляет от 17,9 тысяч км² (с островами 18,3 тысяч км²); объём водной массы — 908 км³; длина с юга на север — 219 км, наибольшая ширина — 138 км. Высота над уровнем моря — 4,84 м. Глубина изменяется неравномерно: в северной части она колеблется от 70 до 230 м, в южной — от 20 до 70 м. В Ладожское озеро впадают не менее 40 рек и крупных ручьёв, а вытекает одна — река Нева.

Климат над Ладожским озером умеренный, переходный от умеренно-континентального к умеренно-морскому. Такой тип климата объясняется географическим положением и атмосферной циркуляцией, характерной для Ленинградской области. Это обуславливается сравнительно небольшим количеством поступающего на земную поверхность и в атмосферу солнечного тепла.

Береговая линия озера более 1 000 км. Северные берега, начиная от Приозерска на западе до Питкяранты на востоке, большей частью высокие, скалистые, сильно изрезанные,

образуют многочисленные полуострова и узкие заливы (фьорды и шхеры), а также мелкие острова, разделённые проливами. Южные берега низкие, слабо изрезанные, подтапливаемые из-за неотектонического субмеридионального перекоса озера.

Северное и восточное побережья Ладожского озера относятся к подзоне средней тайги, а южное и западное — к подзоне южной тайги (URL, 8).

Валаам (карел. Valamoі, фин. Valamo «высокая, горная земля») — остров в северной части Ладожского озера, самый большой в составе Валаамского архипелага.

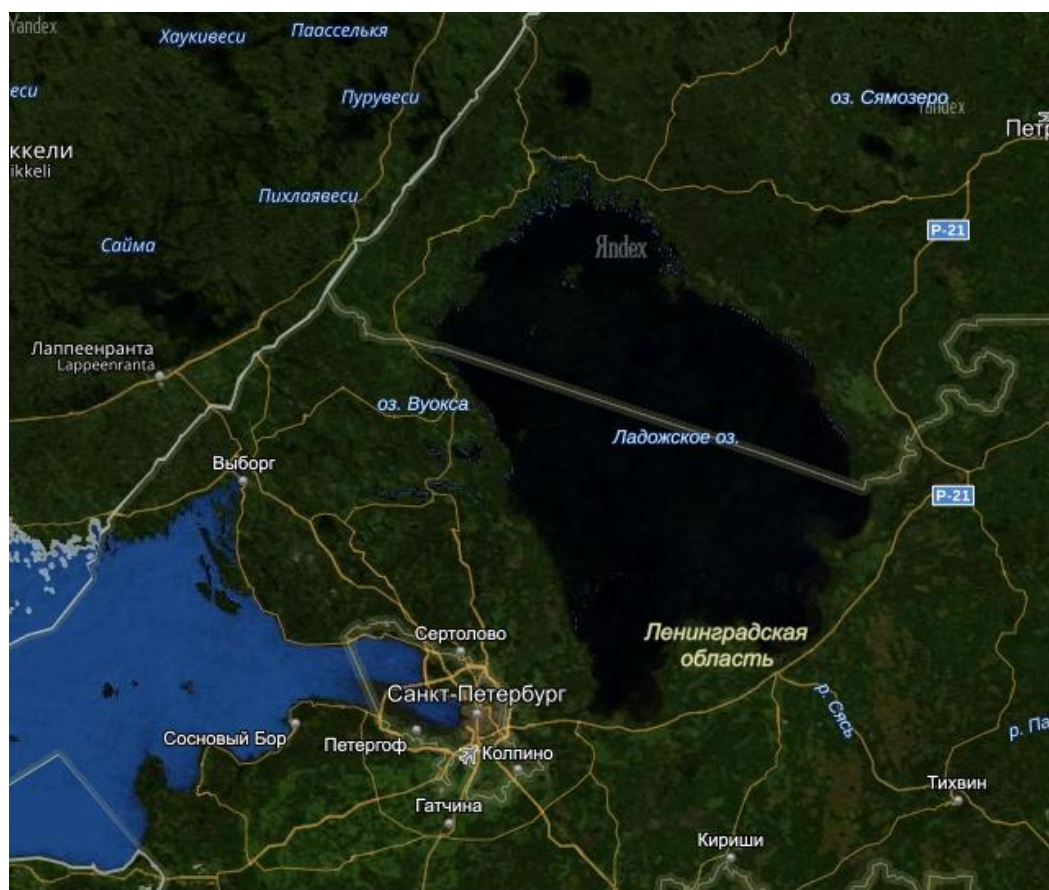


Рис. 3. Спутниковый снимок Ладожского озера.

2.3.3 Земля Северный Рейн-Вестфалия (Nordrhein-Westfalen), озеро Унтербахер-Зее, Германия

По физико-географическим условиям территория этой федеральной земли неоднородна - ее северные и западные части находятся в пределах Северо-Германской низменности (Norddeutsches Tiefland), а восток и юг - Рейнских Сланцевых гор (Rheinisches Schiefergebirge), к которым относятся горные массивы Зауэрланд (Sauerland) и Айфель (Eifel). Высшая точка земли - гора Лангенберг (Langenberg, 843 м) расположена на востоке Зауэрланда на границе с землей Гессен. С юга на север территорию пересекает главная река Германии - Рейн (Rhein) (URL, 9).

Озеро Унтербахер-Зее имеет искусственное происхождение. С 1926 по 1973 года это был песчаный карьер. Площадь водоёма - 87 га. Максимальная глубина - 13,4 м. Средняя глубина - 4,9 м. Объём воды - 4, 11 млн. м³. Питание озера родниковое. В акватории озера имеется 4 острова. Все они имеют статус охраняемой территории. Вокруг озера также расположена заповедная зона Eller forest (URL, 10) (Рис. 4).

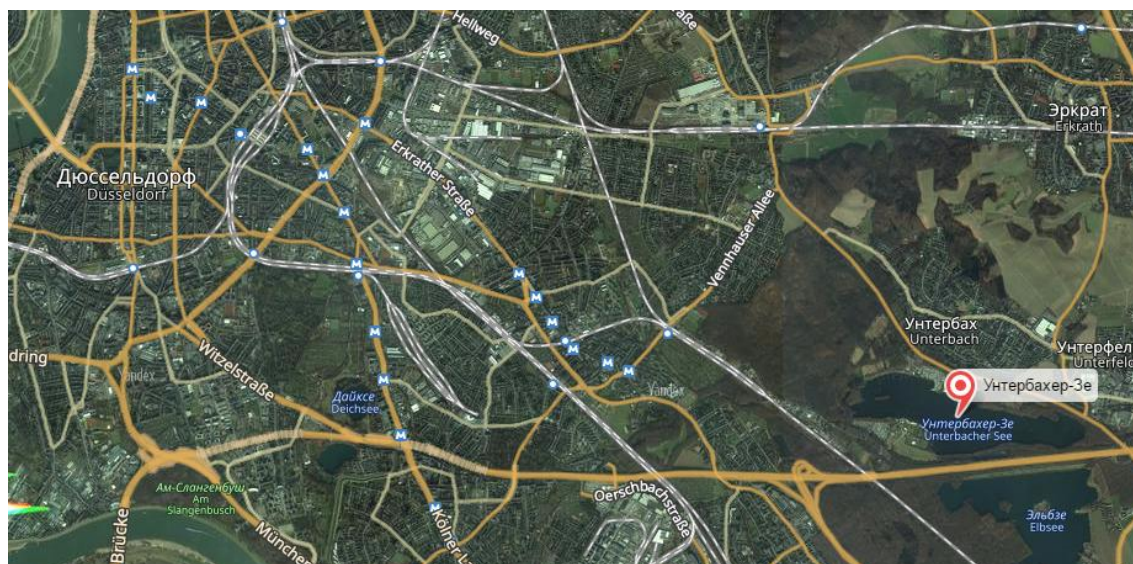


Рис. 4. Спутниковых снимок озера Унтербахер-Зее.

Глава 3. Материал и методы

В данном исследовании проводилось выделение НОС из побегов элодеи канадской и элодеи Натталя. Материал был собран в четырёх местообитаниях.

Отбор элодеи Натталя происходил на озере Унтербахер-Зее, Дюссельдорф, Северный Рейн-Вестфалия, Германия 28 августа 2013 года (рис 5). Координаты 51°11'50"N (51.19709), 6°52'43"E (6.878638).

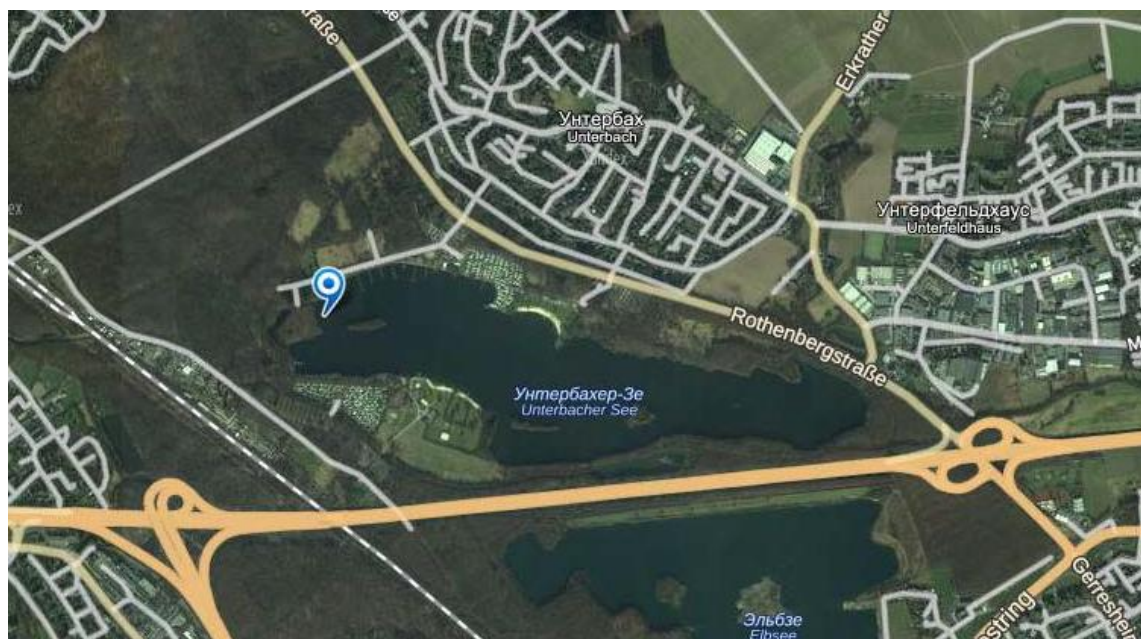


Рис. 5. Место отбора пробы на озере Унтербахер-Зее, Германия.

Отбор элодеи канадской происходил в трёх озёрах: 23 июля 2014 года из Ладоги вблизи острова Валаам, бухта правее Никольского скита, ст.19 (рис. 6), координаты $61^{\circ}23,722' \text{ N } 30^{\circ}56,573' \text{ E}$; 25 июля 2015 года из озера Безымянное Приозерского района Ленинградской области (см. рис. 2), координаты $61^{\circ}7'26''\text{N}$ (61.123853) $29^{\circ}53'51''\text{E}$ (29.897402); 26 июля 2015 года из озера Большое Боровское Приозерского района Ленинградской области (рис. 7), координаты $61^{\circ}6'05.8''\text{N } 29^{\circ}57'46.8''\text{E}$.

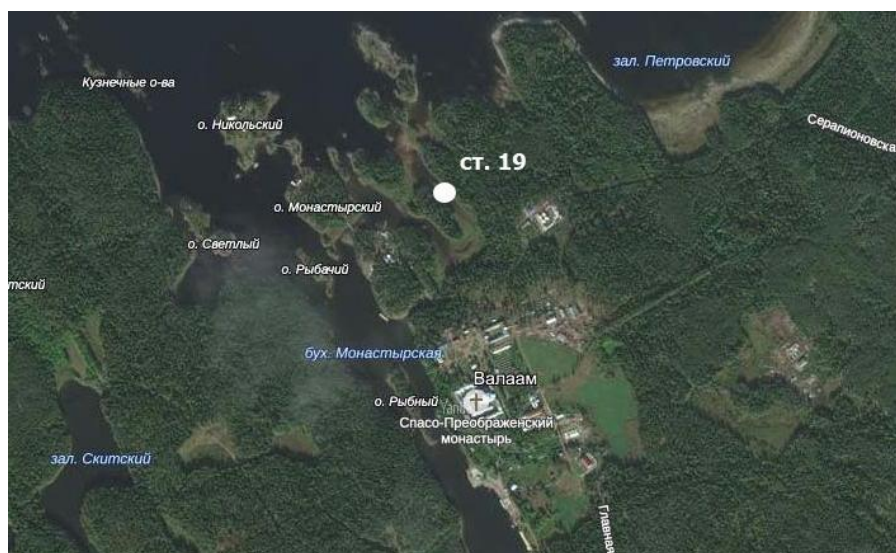


Рис. 6. Место отбора пробы на Ладожском озере.

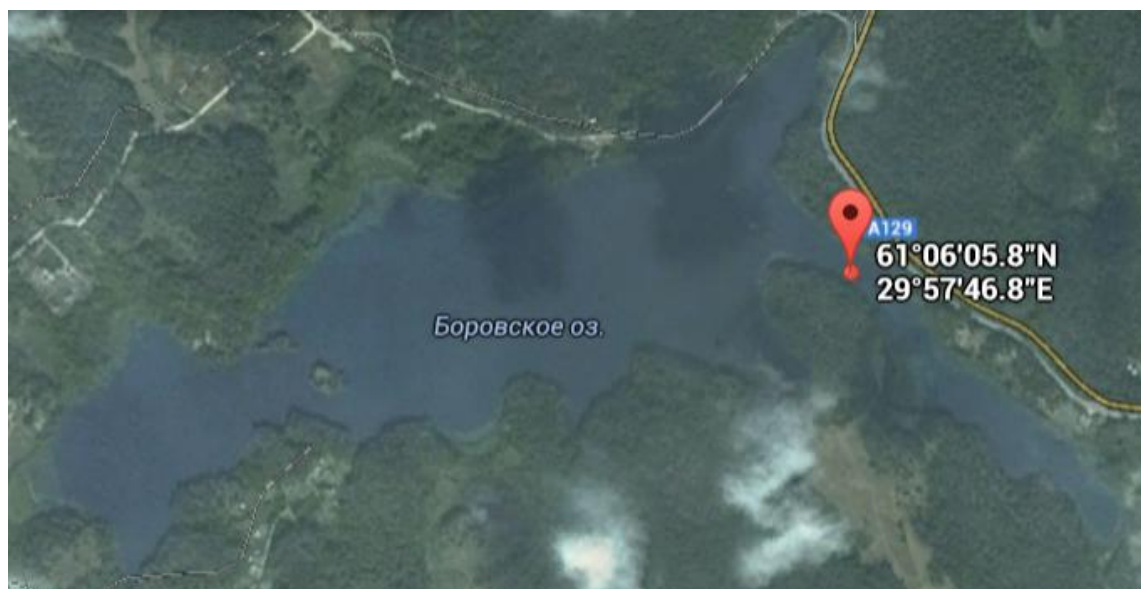


Рис. 7. Место отбора пробы на озере Большое Боровское.

Растение элодея Натталя было отобрано из оз. Унтербахер-Зее (Германия). Далее собранное растение тщательно отмывалось от обрастаний и сушилось в лабораторных условиях при комнатной температуре и без доступа прямых солнечных лучей до воздушно-сухого состояния. Далее сухая масса растения была измельчена в блендере Waring BB-25ES до порошкообразного состояния. Эфирное масло было получено методом гидродистилляции с использованием аппарата Клевенджера (5,7 г). Полученный дистиллят экстрагировали гексаном и хранили в морозильной камере.

Состав НОС в эфирном масле элодеи Натталя выявляли в гексановых экстрактах на хромато-масс-спектрометрическом комплексе TRACE DSQ II (Thermo Electron Corporation) с квадрупольным масс-анализатором. Использовали колонку модели «TRACE TR-5MS GS Column, 15m, 0.25mmID, 0.25 μ Film». В качестве газа-носителя служил гелий. Масс-спектры регистрировали в режиме сканирования по полному диапазону масс (30 – 580 m/z) в программном режиме температур (35° - 3 мин, 2°/мин до 60° - 3 мин, 2°/мин до 80° - 3 мин, 4°/мин до 120° - 3 мин, 5°/мин до 150° - 3 мин, 15°/мин до 240° - 10 мин) с последующей пошаговой обработкой хромато-масс-спектрограмм. Идентификацию выявленных НОС проводили с использованием библиотек масс-спектров «NIST-2005» и «Wiley». Для более точной идентификации применяли индексы Ковача, полученные с использованием стандартов алканов C7 – C30. Количественный анализ выполняли с использованием декафторбензафенона и бензафенона в качестве внутренних стандартов.

Растение элодея канадская было отобрано из озёр Ладожское, Большое Боровское и Безымянное (Карельский перешеек). Эфирное масло, содержащее ЛНОС, из высушенных растений, получили методом гидродистилляции в течение 6 часов с использованием аппарата Клевенджера. Перед перегонкой сухой растительный материал измельчали до порошкооб-

разного состояния в блендере Waring BB-25ES (Waring (США)). Полученный дистиллят экстрагировали гексаном. Экстракты до хромато-масс-спектрометрического анализа сохраняли в морозильной камере.

Состав ЛНОС изученного вида выявляли в гексановых экстрактах на хромато-масс-спектрометрическом комплексе TRACE Gc Ultra ISQ (Thermo Fisher Scientific) с квадрупольным масс-анализатором. Использовали колонку модели «TRACE-TG-SQC Column, 15m, 0.25mm ID, 0.25µ Film». В качестве газа-носителя служил гелий. Масс-спектры регистрировали в режиме сканирования по полному диапазону масс (30–580 m/z) в программированном режиме температур (35° – 3 мин, 2 °/мин до 60° – 3 мин, 2°/мин до 80° – 3 мин, 4°/мин до 120° – 3 мин, 5°/мин до 150° – 3 мин, 15°/мин до 240° – 10 мин) с последующей пошаговой обработкой хроматограмм. Идентификацию выявленных ЛНОС проводили с использованием библиотек масс-спектров «NIST-2008» и «Wiley». Для более точной идентификации применяли индексы Ковача, полученные с использованием стандартов алканов C7–C30. Количественный анализ выполняли с использованием бензофенона в качестве внутреннего стандарта.

Физико-химические характеристики водной толщи в местах отбора проб определялись при помощи многопараметрического зонда YSI 6600 V2-03 на озёрах Большое Боровское, Безымянное и Ладожское (табл. 1-2).

Таблица 1. Средние значения (медиана) температуры (Temp, C), удельной электропроводности (SpCond, мС/см), электропроводности (Cond, мС/см), общей минерализации (TDS, г/л), концентрация кислорода (DO%, %), концентрация кислорода (DO Conc, мг/л), окислительно-восстановительного потенциала (ORP, мВ), концентрации хлорофилла (Chlorophyll, мг/л), концентрации сине-зеленых водорослей (BGA PC Conc, кл/мл), мутности (Turbidity+, NTU) в поверхностном слое воды озер Большое Боровское и Безымянное.

Озеро	Temp	SpCond	Cond	TDS	pH	ORP	Turbidity+	Chlorophyll	BGA PC Conc	DO%	DO Conc
Бол. Боровское	19.9	0.298	0.269	0.194	9.325	116	21.8	12.6	53645.5	133.15	12.14
Безымянное	22.11	0.028	0.026	0.018	8.34	127	2.8	8.9	1263	101.9	8.89

Таблица 2. . Средние значения (медиана) температуры (Temp, C), удельной электропроводности (SpCond, мС/см), электропроводности (Cond, мС/см), общей минерализации (TDS, г/л), концентрация кислорода (DO%, %), концентрация кислорода (DO Conc, мг/л), окислительно-восстановительного потенциала (ORP, мВ), концентрации хлорофилла (Chlorophyll, мг/л), концентрации сине-зеленых водорослей (BGA PC Conc, кл/мл), мутности (Turbidity+, NTU), концентрации аммонийного азота (AmmoniumN, мг/л), концентрации нит-

ратного азота (NitrateN, мг/л), концентрации хлоридов (Chloride, мг/л) в поверхностном слое воды Ладожского озера.

Temp	SpCond	Cond	TDS	pH	ORP	Turbidity+	Chlorophyll	BGA PC Conc	DO%	DO Conc	AmmoniumN	NitrateN	Chloride
22.39	0.1035	0.0985	0.0675	8.14	30	4.05	6.35	1717.75	110.3	9.5	0.13	3.14	0.51

Глава 4. Результаты и обсуждение

4.1 Компонентный состав элодеи Натталя

По результатам проведенного хромато-масс-спектрометрического анализа эфирного масла *E. nuttalii* было выявлено 87 НОС (Рис. 8).

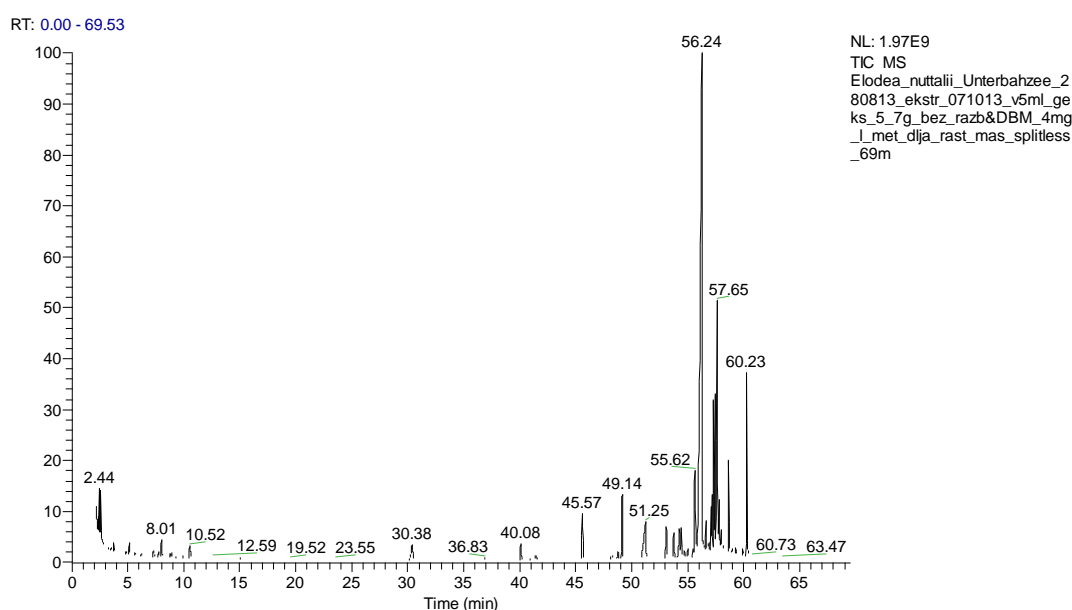


Рис. 8 Общий вид хроматограммы *E. nuttalii*.

Результаты анализа компонентного состава НОС эфирного масла *E. nuttalii* показали наличие большого количества соединений, принадлежащих к различным классам (Табл.3). В пробе было обнаружено 53 специфических соединения, среди которых разнообразные терпеновые соединения и их производные: D-лимонен (RT = 10.52), α -фарнезен (RT = 41.16), изофитол (RT = 55.46), эпиманоол (RT = 56.60), α -ионон (RT = 37.63), β -циклоцитраль (RT = 23.55); ароматические соединения: диизобутил фталат (RT = 53.74), фенантрен (RT = 49.99), транс-2-(2-пентенил)фуран (RT = 9.38); фенольное соединение: 2,6-дитерт-бутил-4-этилфенол (RT = 50.21); кетоны: 2,6-ди(терт-бутил)-4-гидрокси-4-метил-2,5-циклогексадиен-1-он (RT = 39.78), 5-пентил-2(3H)-фуранон (RT = 27.36); альдегид цис,цис,цис-7,10,13-гексадекатриеналь (RT = 54.4); также додекан (RT = 22.77), Z-11-гексадеценовая кислота (RT = 55.66) и другие соединения.

Лимонен (доля вещества в пробе 0.88%) встречается во многих маслах, фруктах, растениях. Он используется для обезжиривания металла перед промышленным окрашиванием, в бытовой химии, как активный компонент в пестицидах. Лимонен, являющийся также компонентом экстрактов можжевельника и шалфея, проявляли антимикробную активность относительно бактерий родов *Staphylococcus*, *Escherichia* и грибов рода *Candida* [1].

Додекан используют в качестве растворителя, в органическом синтезе. Это соединение является отходом резиновой и бумажной промышленности; кроме того, оно входит в состав нефтепродуктов [1].

2,6-ди(tert-бутил)-4-гидрокси-4-метил-2,5-циклогекса-диен-1-он с довольно высокой токсичностью относят к загрязнителям окружающей среды. В то же время, присутствие его в поверхностных водах может быть связано и с природным происхождением, как, например, в термальных источниках. Это вещество может быть продуктом разложения водной растительности. Оно также выявлено в составе метаболитов в листьях табака [5]. Доля его в пробе очень мала - 0.02%.

Цис,цис,цис-7,10,13-гексадекатриеналь (доля вещества в пробе 1.33%) выполняет важную регулирующую роль в трофических цепях в водных экосистемах. Показано, что C_6 альдегиды, спирты, эфиры и кетоны, продуцируемые растениями и выделяемые в окружающую среду, могут вносить серьезный вклад в обогащение атмосферы [5].

Также в пробе были выявлены фталаты: бис(2-этилгексил)фталат, дибутил фталат, диизобутил фталат, являющийся специфическим соединением для пробы. Суммарная доля фталатов составляет 8,93%. Фталаты широко используют в химической промышленности, в частности как пластификаторы, их рассматривают как вещества, загрязняющие природную среду и представляющие угрозу для здоровья людей. Однако эти соединения синтезируют в природе и сами растения, используя их как фитотоксины, принимающие участие в аллелопатических взаимодействиях [3].

Таблица 3. Компонентный состав эфирного масла из побегов *E.nuttalii* (28/08/2013, оз. Унтербахер-Зее, Германия)

(RT – время удерживания, мин; ИК – индекс Ковача;

% – доля вещества в эфирном масле;

С_{ср} – концентрация вещества в сухом растении, мг/г)

	Формула	RT	RI	%	С _{ср}
1	$C_6H_{12}O$	2.38	791	0.31	0.0004
2	$C_6H_{12}O$	2.44	793	1.12	0.0016
3	$C_6H_{12}O$	2.60	800	1.67	0.0024
4	$C_6H_{10}O$	3.52	836	0.12	0.0002
5	$C_6H_{10}O$	3.70	843	0.30	0.0004

6	C ₇ H ₁₄ O	4.85	889	0.11	0.0002
7	C ₇ H ₁₂ O	5.09	899	0.22	0.0003
8	C ₇ H ₁₄ O	5.15	901	0.43	0.0006
9	C ₇ H ₁₄ O	5.63	912	0.07	0.0001
10	C ₈ H ₁₄ O ₂	8.76	984	0.13	0.0002
11	C ₉ H ₁₄ O	8.90	988	0.25	0.0004
12	C ₉ H ₁₂ O	9.38	999	0.12	0.0002
13	C ₈ H ₁₆ O	9.56	1002	0.05	0.0001
14	C ₇ H ₁₀ O	9.92	1009	0.16	0.0002
15	C ₈ H ₁₆ O ₂	10.36	1016	0.07	0.0001
16	C ₁₀ H ₁₆	10.52	1019	0.88	0.0013
17	C ₈ H ₈ O	11.50	1036	0.08	0.0001
18	C ₈ H ₁₄ O	12.59	1055	0.12	0.0002
19	C ₈ H ₁₂ O	13.51	1071	0.20	0.0003
20	C ₉ H ₁₄ O	14.81	1093	0.14	0.0002
21	C ₇ H ₁₂ O ₂	15.11	1099	0.13	0.0002
22	C ₉ H ₁₈ O	15.41	1103	0.31	0.0005
23	C ₉ H ₁₀ O	19.52	1157	0.10	0.0002
24	C ₁₂ H ₂₆	22.77	1200	0.06	0.0001
25	C ₁₀ H ₂₀ O	23.19	1205	0.03	0.0000
26	C ₁₀ H ₁₆ O	23.55	1210	0.08	0.0001
27	C ₁₁ H ₁₈ O	26.13	1245	0.02	0.0000
28	C ₉ H ₁₄ O ₂	27.36	1261	0.04	0.0001
29	C ₁₀ H ₁₆	28.40	1275	0.09	0.0001
30	C ₁₀ H ₁₆ O	31.42	1318	0.05	0.0001
31	C ₁₄ H ₃₀	36.83	1400	0.12	0.0002
32	C ₁₃ H ₂₆ O	37.05	1405	0.04	0.0001
33	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	37.21	1409	0.04	0.0001
34	C ₁₃ H ₂₀ O	37.63	1419	0.06	0.0001
35	C ₁₅ H ₃₂	38.64	1443	0.02	0.0000
36	C ₁₃ H ₂₂ O	39.06	1454	0.05	0.0001
37	C ₁₆ H ₃₄	39.50	1464	0.05	0.0001
38	C ₁₅ H ₂₄ O ₂	39.78	1471	0.02	0.0000
39	C ₁₃ H ₂₀ O	40.08	1478	0.75	0.0011
40	C ₁₅ H ₃₂	40.96	1500	0.08	0.0001
41	C ₁₅ H ₂₄	41.16	1504	0.04	0.0001
42	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	41.56	1514	0.19	0.0003
43	C ₁₅ H ₃₂ O	43.57	1562	0.04	0.0001
44	C ₁₄ H ₂₂ O	43.87	1569	0.03	0.0000
45	C ₁₆ H ₃₂	44.41	1582	0.04	0.0001
46	C ₁₆ H ₃₄	45.13	1600	0.15	0.0002
47	C ₁₆ H ₃₂	47.00	1651	0.08	0.0001
48	C ₁₆ H ₃₄ O	47.82	1674	0.08	0.0001
49	C ₁₇ H ₃₄	47.98	1678	0.08	0.0001

50	C ₁₄ H ₃₀ O	48.16	1683	0.34	0.0005
51	C ₁₅ H ₂₈ O	48.40	1690	0.07	0.0001
52	C ₁₇ H ₃₄	48.52	1693	0.09	0.0001
53	C ₁₇ H ₃₆	48.74	1700	0.39	0.0006
54	C ₁₅ H ₃₀ O	49.14	1713	2.58	0.0038
55	C ₁₅ H ₃₂ O	49.91	1740	0.10	0.0001
56	C ₁₄ H ₁₀	49.99	1743	0.15	0.0002
57	C ₁₆ H ₂₆ O	50.21	1751	0.03	0.0000
58	C ₁₅ H ₂₂ O	50.73	1769	0.05	0.0001
59	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	51.25	1787	4.13	0.0060
60	C ₁₈ H ₃₈	51.57	1800	0.16	0.0002
61	C ₁₆ H ₃₂ O	52.05	1814	0.13	0.0002
62	C ₁₈ H ₃₆ O	53.07	1847	1.66	0.0024
63	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	53.74	1869	1.13	0.0017
64	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	54.26	1886	1.75	0.0026
65	C ₁₆ H ₂₆ O	54.40	1891	1.33	0.0019
66	C ₁₉ H ₄₀	54.68	1900	0.29	0.0004
67	C ₁₇ H ₃₄ O	54.98	1920	0.31	0.0004
68	C ₂₀ H ₄₀ O	55.46	1952	0.15	0.0002
69	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	55.62	1963	2.30	0.0034
70	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	55.66	1966	2.02	0.0029
71	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	56.24	2008	41.29	0.0603
72	C ₂₀ H ₃₄ O	56.60	2044	0.62	0.0009
73	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	56.84	2068	0.42	0.0006
74	C ₁₈ H ₃₈ O	57.06	2090	1.34	0.0020
75	C ₂₁ H ₄₄	57.16	2100	1.64	0.0024
76	C ₂₀ H ₄₀ O	57.30	2118	3.96	0.0058
77	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	57.40	2130	0.71	0.0010
78	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	57.65	2161	11.19	0.0164
79	C ₁₉ H ₃₂ O ₂	57.79	2179	1.21	0.0018
80	C ₂₂ H ₄₆	57.95	2200	0.74	0.0011
81	C ₂₃ H ₄₈	58.65	2300	2.31	0.0034
82	C ₂₁ H ₄₀ O ₂	58.97	2354	0.06	0.0001
83	C ₂₄ H ₅₀	59.25	2400	0.13	0.0002
84	C ₂₅ H ₅₂	59.87	2500	0.19	0.0003
85	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	60.23	2548	5.50	0.0080
86	C ₂₇ H ₅₆	61.56	2700	0.06	0.0001
87	C ₂₅ H ₅₀ O ₂	61.97	2732	0.04	0.0001

Наибольшими концентрациями, соответственно долями от общего содержания веществ обладают следующие вещества:

1. n-Гексадекановая кислота (41.29%);
2. (Z,Z)-9,12-Октадекадиеновая кислота (11.19%);
3. Бис(2-этилгексил)фталат (5.50%);

4. Тетрадекановая кислота (4.13%);
5. Фитол (3.96%).

Среди веществ, концентрация которых высока, можно выделить жирные кислоты (гексадекановая (RT = 56.24), октадекадиеновая (RT = 57.65), тетрадекановая (RT = 51.25), пентадекановая (RT = 54.26), гексадеценная (RT = 55.66) кислоты), бис (2-этилгексил)фталат (RT = 60.23), фитол (RT = 57.30), гексаналь (RT = 2.60), гексанон (RT = 2.44; 2.38).

Гексаналь (1.67%) проявляет антимикробное и фунгицидное действия. Следует также отметить выявленную важную роль гексаналя в формировании механизмов защиты растений от внешних повреждений, включая защиту от растительных организмов [4].

Известно, что выявленный в пробе гексанон проявлял антимикробную активность в отношении 7 видов бактерий и одного микромицета. Также описаны его фунгицидные и антимикробные свойства [1].

Среди веществ с низкой концентраций также можно выделить некоторые соединения. Например, для 2-гептанона (RT = 4.85) описаны защитные, отпугивающие и антибактериальные свойства [4].

Показано, что 2-пентилфуран (RT = 8.90) начинает активно синтезироваться *O. sativa* в ответ на воздействие патогенных микроорганизмов. Возможно также, что функции 2-пентилфурана связаны с обеспечением механизмов роста растения [8].

В пробе были выделены α -ионон, β -ионон (RT = 40.08), геранилацетон (6,10-диметил-5,9-ундекадиен-2-он) (RT = 39.06). Суммарная доля их составляет 0.86%. Эти вещества участвуют в синтезе и распаде каротиноидов, также, по-видимому, выполняют различные функции в водных и наземных растениях, в том числе защиту от ультрафиолетовой радиации и контроль развития окружающих организмов в ходе аллелопатических взаимодействий [5].

4.2 Компонентный состав элодеи канадской в озере Большое Боровское

По результатам проведенного хромато-масс-спектрометрического анализа эфирного масла *E. canadensis* в озере Большое Боровское было выявлено 73 НОС, из которых не было идентифицировано 5 веществ с временем выхода 5.59, 9.60, 19.75, 42.19, 59.37 (Рис. 9).

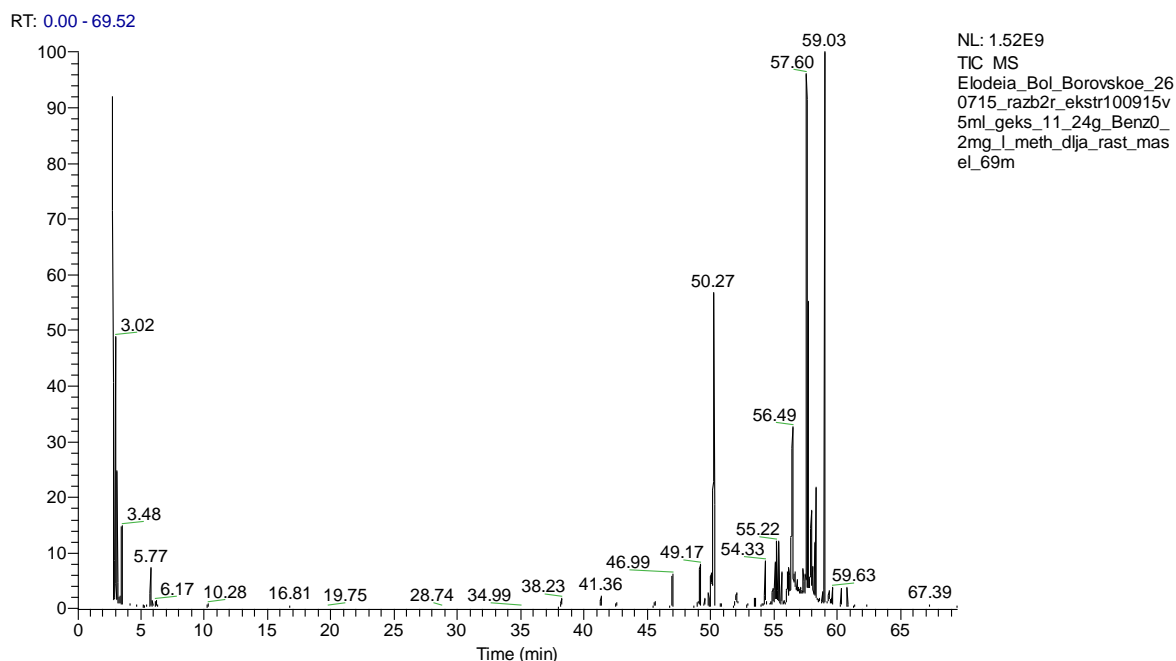


Рис. 9. Общий вид хроматограммы *E.canadensis Michx.* из озера Большое Боровское.

Данные по компонентному составу ЛНОВ эфирного масла *E.canadensis Michx.* из озера Большое Боровское приведены в таблице 4. В пробе было обнаружено 36 специфических соединений, среди которых терпеновые соединения: сквален (RT = 64.21), бетулин (RT = 67.39); неодиgidрокарвеол (RT = 10.79), 3-(хлорметил)-гептан (RT = 14.49), 1,2-дигидро-1,4,6-триметил-нафтаден (RT = 34.99), тридекановая кислота (RT = 45.61), этил линолеат (RT = 57.97), трикозил ацетат (RT = 61.34) и другие соединения.

В пробе был идентифицирован ациклический тритерпеновый углеводород сквален. Подобные вещества участвуют в биосинтезе стероидов, в частности сквален является промежуточным продуктом биосинтеза холестерина, к которому он структурно близок [3].

Бетулин — биологически - активное вещество входящее в состав экстракта бересты березы. Обладает антисептическими свойствами. Активен против вируса гриппа А. В 1926 г. было сообщено об антирахитном действии. Оказывает защитное действие при токсическом действии солей кадмия (URL, 18).

Таблица 4. Компонентный состав эфирного масла из побегов *E. canadensis Michx.*

(26/07/2015, оз. Большое Боровское, Ленинградская область)

(RT – время удерживания, мин; ИК – индекс Ковача;

% – доля вещества в эфирном масле;

Сср – концентрация вещества в сухом растении, мг/г)

	Формула	RT	ИК	Сср	%
1	C ₆ H ₁₀ O	4.68	858	0.0001	0.14
2	C ₇ H ₁₄ O	5.28	904	0.0001	0.09
3	Неидентифицированное вещество	5.59	911	0.0001	0.08

4	C ₈ H ₁₀	5.77	915	0.0020	1.98
5	C ₇ H ₁₄ O	5.88	918	0.0003	0.26
6	C ₁₀ H ₂₂	6.00	920	0.0001	0.08
7	C ₇ H ₁₆ O	6.09	923	0.0001	0.07
8	C ₇ H ₁₆ O	6.29	927	0.0001	0.12
9	C ₁₁ H ₂₄	8.64	982	0.0000	0.02
10	C ₁₂ H ₂₆	9.24	996	0.0000	0.03
11	C ₁₂ H ₂₆	9.48	1001	0.0000	0.03
12	Неидентифицированное вещество	9.60	1003	0.0000	0.03
13	C ₇ H ₁₀ O	9.81	1007	0.0001	0.09
14	C ₉ H ₁₄ O	10.28	1015	0.0002	0.23
15	C ₁₀ H ₁₈ O	10.79	1024	0.0001	0.15
16	C ₈ H ₁₆ O	13.34	1068	0.0001	0.07
17	C ₆ H ₁₂ N ₂	13.62	1073	0.0001	0.13
18	C ₉ H ₁₈ O ₂	13.83	1076	0.0001	0.10
19	C ₈ H ₁₇ Cl	14.49	1088	0.0001	0.09
20	C ₄ H ₄ N ₂ O ₂	14.58	1089	0.0002	0.17
21	C ₈ H ₁₆ O	16.81	1121	0.0003	0.29
22	Неидентифицированное вещество	19.75	1160	0.0001	0.14
23	C ₈ H ₁₂ O ₃	21.36	1181	0.0002	0.18
24	C ₉ H ₁₆ O ₄	28.74	1280	0.0000	0.02
25	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	28.83	1281	0.0000	0.02
26	C ₁₂ H ₂₈	32.58	1335	0.0000	0.02
27	C ₁₃ H ₁₆	34.99	1372	0.0001	0.07
28	C ₁₂ H ₂₄	37.86	1424	0.0000	0.04
29	C ₁₄ H ₃₀	38.23	1433	0.0007	0.69
30	C ₁₃ H ₂₆ O	38.42	1438	0.0000	0.04
31	C ₁₂ H ₂₄ O	38.55	1441	0.0001	0.05
32	C ₁₃ H ₂₂ O	40.32	1484	0.0001	0.09
33	C ₁₅ H ₃₂	40.76	1495	0.0000	0.04
34	C ₁₃ H ₂₀ O	41.36	1509	0.0008	0.76
35	Неидентифицированное вещество	42.19	1529	0.0001	0.12
36	C ₁₃ H ₂₆ O	42.56	1538	0.0003	0.32
37	C ₁₅ H ₂₈ O ₂	42.69	1541	0.0002	0.19
38	C ₁₀ H ₁₆ N ₂ O	42.92	1546	0.0001	0.05
39	C ₁₃ H ₂₆ O ₂	45.61	1612	0.0006	0.63
40	C ₁₄ H ₂₈ O	46.99	1651	0.0017	1.69
41	C ₁₀ H ₁₄ O ₃	48.69	1698	0.0001	0.12
42	C ₁₅ H ₃₂ O	49.17	1714	0.0021	2.13
43	C ₁₅ H ₂₈ O	49.55	1727	0.0003	0.33
44	C ₁₇ H ₃₆	49.83	1737	0.0007	0.73
45	C ₁₆ H ₃₂ O	50.04	1745	0.0033	3.34

46	C ₁₅ H ₃₀ O	50.27	1753	0.0178	17.94
47	C ₁₉ H ₃₃ F ₅ O ₂	50.81	1772	0.0002	0.19
48	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	52.07	1815	0.0017	1.70
49	C ₁₈ H ₃₆ O	52.92	1843	0.0002	0.15
50	C ₁₈ H ₃₆ O	53.50	1861	0.0006	0.59
51	C ₁₇ H ₃₄ O	54.33	1888	0.0017	1.68
52	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	54.92	1916	0.0008	0.80
53	C ₁₈ H ₃₂ O	55.12	1929	0.0015	1.52
54	C ₁₈ H ₃₂ O	55.22	1936	0.0018	1.79
55	C ₁₉ H ₄₀	55.39	1948	0.0020	1.98
56	C ₁₈ H ₃₆ O	55.65	1965	0.0010	0.96
57	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	56.11	1997	0.0008	0.77
58	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	56.20	2004	0.0008	0.78
59	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	56.49	2033	0.0121	12.16
60	C ₂₁ H ₄₄	57.60	2155	0.0134	13.48
61	C ₂₀ H ₄₀ O	57.70	2168	0.0058	5.89
62	C ₂₀ H ₃₆ O ₂	57.97	2202	0.0026	2.58
63	C ₂₂ H ₄₀	58.23	2240	0.0011	1.12
64	C ₂₂ H ₄₆	58.34	2256	0.0021	2.10
65	C ₂₃ H ₄₈	59.03	2364	0.0120	12.09
66	Неидентифицированное вещество	59.37	2419	0.0004	0.43
67	C ₂₄ H ₅₀	59.63	2460	0.0004	0.45
68	C ₂₅ H ₅₂	60.34	2562	0.0005	0.52
69	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	60.78	2617	0.0006	0.62
70	C ₂₅ H ₅₀ O ₂	61.34	2675	0.0001	0.10
71	C ₂₇ H ₅₆	62.31	2760	0.0001	0.11
72	C ₃₀ H ₅₀	64.21	2887	0.0001	0.14
73	C ₃₀ H ₅₀ O ₂	67.39	3038	0.0013	1.27

Наибольшими концентрациями, соответственно долями от общего содержания веществ обладают следующие вещества:

1. Пентадеканал (17.94%);
2. Генейкозан (13.48%);
3. n-Гексадекановая кислота (12.16%);
4. Трикозан (12.09%);
5. Фитол (5.89%).

Среди веществ, концентрация которых высока, можно выделить генейкозан (RT = 57.60), трикозан (RT = 59.03), докозан (RT = 58.34), нонадекан (RT = 55.39), n-гексадекановую кислоту (RT = 56.49), тетрадекановую кислоту (RT = 52.07), фитол (RT = 57.70), 1,3-диметил-бензен (RT = 5.77).

Среди веществ с низкой концентраций также можно выделить некоторые соединения. Для 2-гептанона ($RT = 4.85$) описаны защитные, отпугивающие и антибактериальные свойства [4].

В данной пробе фталаты представлены только одним соединением - дибутил фталат ($RT = 56.20$). Доля его составляет 0.78%, что значительно меньше, чем в предыдущей пробе. Также был найден 2-пентилфуран ($RT = 10.28$) (0.23%) в такой же концентрации, как и в предыдущей пробе (0.25%). Было выявлено хлорсодержащее соединение 3-(хлорметил)-гептан ($RT = 14.49$) (0.09%), чего не было найдено в пробе *E. nuttallii*. Ещё одним отличием является присутствие в пробе из озера Большое Боровское производного нафталина - вещества 1,2-дигидро-1,4,6-триметил-нафтален ($RT = 34.99$) (0.07%).

4.3 Компонентный состав элодеи канадской в озере Безымянное

По результатам проведенного хромато-масс-спектрометрического анализа эфирного масла *E. canadensis* в озере Безымянное было выявлено 73 НОС, из которых не было идентифицировано 2 вещества с временем выхода 45.61 и 48.88 (Рис. 10).

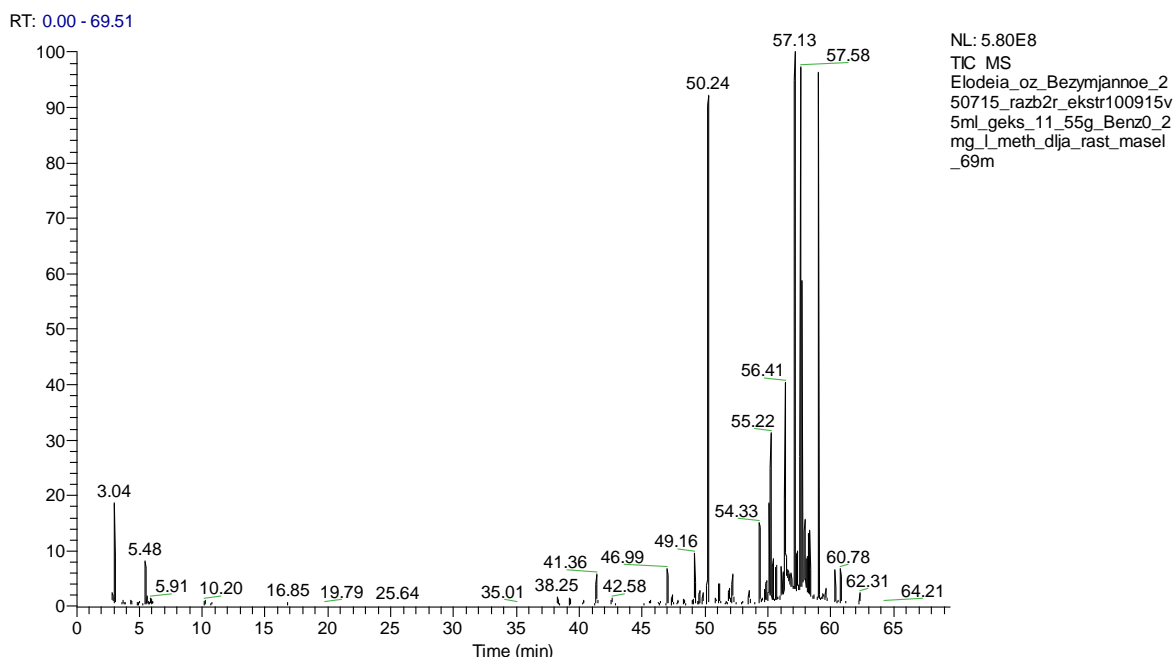


Рис. 10. Общий вид хроматограммы *E.canadensis Michx.* из озера Безымянное.

Результаты анализа компонентного состава НОС эфирного масла *E. canadensis Michx.* из озера Безымянного показали наличие большого количества соединений, принадлежащих к различным классам (Табл.5). В пробе было обнаружено 36 специфических соединений, среди которых терпеновые соединения и их производные: кариофилленоксид ($RT = 44.94$), β -кедрен-9- α -ол ($RT = 47.40$), α -циперон ($RT = 47.83$); ароматические соединения, производные нафталина: [1S-[1 α (R*),4A β ,8A α]]- α -этенилдекагидро- α ,5,5,8A-тетраметил-2-метилен-1-нафталенпропанол ($RT = 57.13$), октагидро-2,4a,8,8-тетраметил-

циклопропа[d]нафтаден-3-он, оксим (RT = 45.21), 1,2,3,4-тетрагидро-1,4,6-триметил-нафтаден (RT = 35.27), 1,2-дигидро-1,5,8-триметил-нафтаден (RT = 35.01); хлорсодержащие соединения: хлорангидрид олеиновой кислоты (RT = 58.09), (2-гексилокси-этокси)-ацетилхлорид (RT = 37.02); жирная кислота гамма-линоленовая (RT = 57.31) и другие соединения.

Кедренол - вещество, входящее в состав кедрового эфирного масла. Используется в парфюмерии. Общая доля терпеновых соединений и их производных в пробе составляет 7.89%. Данные соединения являются исключительно важными для экологии растений, в том числе и водных макрофитов. Эти метаболиты проявляют широкий спектр биологических свойств и участвуют практически во всех функциональных проявлениях действия ЛНОС в водоёмах [6].

Отличием рассматриваемой пробы от всех остальных является обнаружение в ней сравнительно большого количества производных нафтадена - 5 соединений, составляющих 11.09% по концентрации веществ всей пробы. Помимо указанных выше, присутствует также цис-гексагидро-8А-метил-1,8(2Н,5Н)-нафтадендион (RT = 42.94), найденный в эфирном масле *E. nuttallii* (0.19%). Производные нафтадена были найдены также в пробе из озера Большое Боровское (1 соединение, 0.07%).

Были обнаружены два хлорсодержащих соединения в суммарной концентрации 0.75%, что превышает количество в предыдущей пробе.

Таблица 5. Компонентный состав эфирного масла из побегов *E. canadensis Michx.*

(25/07/2015, оз. Безымянное, Ленинградская область)

(RT – время удерживания, мин; ИК – индекс Ковача;

% – доля вещества в эфирном масле;

С_{ср} – концентрация вещества в сухом растении, мг/г)

	Формула	RT	ИК	С _{ср}	%
1	C ₆ H ₁₂ O	4.34	846	0.0001	0.14
2	C ₇ H ₁₄ O	4.97	869	0.0001	0.10
3	C ₇ H ₁₄ O	5.61	893	0.0003	0.33
4	C ₇ H ₁₆ O	6.06	905	0.0001	0.11
5	C ₈ H ₁₄	8.81	965	0.0001	0.07
6	C ₇ H ₁₀ O	9.76	985	0.0001	0.08
7	C ₉ H ₁₄ O	10.20	995	0.0003	0.27
8	C ₁₀ H ₁₆	10.73	1005	0.0001	0.14
9	C ₇ H ₁₃ NO	13.66	1052	0.0001	0.11
10	C ₄ H ₄ N ₂ O ₂	14.62	1068	0.0001	0.11
11	C ₈ H ₁₆ O	16.85	1100	0.0003	0.35
12	C ₈ H ₁₂ O	17.18	1104	0.0001	0.13
13	C ₈ H ₁₆ O ₃	19.79	1138	0.0000	0.04
14	C ₁₀ H ₁₈ O ₃	21.39	1158	0.0001	0.05
15	C ₁₁ H ₂₂ O	25.27	1208	0.0000	0.03
16	C ₁₀ H ₁₆ O	25.64	1213	0.0000	0.05

17	C ₁₁ H ₁₈ O	28.29	1247	0.0000	0.03
18	C ₁₀ H ₁₈ O	29.37	1261	0.0000	0.04
19	C ₁₆ H ₂₃ F ₇ O ₂	33.11	1312	0.0001	0.07
20	C ₁₃ H ₁₆	35.01	1345	0.0001	0.13
21	C ₁₃ H ₁₈	35.27	1349	0.0000	0.03
22	C ₁₀ H ₁₉ ClO ₃	37.02	1380	0.0000	0.05
23	C ₁₅ H ₃₀	37.88	1395	0.0001	0.07
24	C ₁₄ H ₃₀	38.25	1400	0.0005	0.49
25	C ₁₃ H ₂₆ O	38.45	1407	0.0001	0.09
26	C ₁₄ H ₂₂ O	39.22	1427	0.0003	0.36
27	C ₁₃ H ₂₂ O	40.33	1455	0.0002	0.20
28	C ₁₃ H ₂₀ O	41.36	1481	0.0017	1.81
29	C ₁₅ H ₃₂	42.20	1500	0.0006	0.69
30	C ₁₃ H ₂₆ O	42.58	1510	0.0003	0.33
31	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	42.94	1519	0.0002	0.17
32	C ₁₅ H ₂₄ O	44.94	1564	0.0001	0.09
33	C ₁₅ H ₂₅ NO	45.21	1570	0.0001	0.13
34	Неидентифицированное вещество	45.61	1579	0.0000	0.02
35	C ₁₇ H ₃₄	46.27	1594	0.0001	0.07
36	C ₁₅ H ₂₄ O	46.42	1598	0.0001	0.14
37	C ₁₄ H ₂₈ O	46.99	1614	0.0015	1.58
38	C ₁₅ H ₂₄ O	47.40	1627	0.0004	0.48
39	C ₁₅ H ₂₁ DO	47.83	1640	0.0001	0.16
40	C ₁₄ H ₂₄ O	48.29	1654	0.0002	0.21
41	Неидентифицированное вещество	48.88	1672	0.0001	0.10
42	C ₁₆ H ₃₄ O	49.00	1676	0.0001	0.10
43	C ₁₅ H ₃₂ O	49.16	1681	0.0018	1.92
44	C ₁₆ H ₃₀ O	49.55	1693	0.0005	0.48
45	C ₂₀ H ₄₂	49.83	1702	0.0004	0.45
46	C ₁₆ H ₃₂ O	50.24	1715	0.0187	20.00
47	C ₁₅ H ₂₄ O	51.11	1743	0.0007	0.75
48	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	51.93	1770	0.0011	1.21
49	C ₁₅ H ₂₄ O ₂	52.19	1778	0.0016	1.73
50	Неидентифицированное вещество	53.5	1826	0.0006	0.66
51	C ₁₈ H ₃₆ O	54.33	1859	0.0023	2.43
52	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	54.75	1876	0.0003	0.34
53	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	54.87	1881	0.0006	0.65
54	C ₁₈ H ₃₂ O	55.12	1891	0.0020	2.11
55	C ₁₈ H ₃₂ O	55.22	1895	0.0035	3.72
56	C ₁₉ H ₄₀	55.39	1900	0.0010	1.09
57	C ₁₈ H ₃₆ O	55.65	1924	0.0010	1.02
58	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	56.05	1955	0.0009	0.92
59	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	56.20	1967	0.0004	0.44
60	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	56.41	1983	0.0096	10.30
61	C ₂₀ H ₃₄ O	57.13	2055	0.0099	10.63

62	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	57.31	2074	0.0007	0.71
63	C ₂₁ H ₄₄	57.58	2100	0.0082	8.81
64	C ₂₀ H ₄₀ O	57.69	2118	0.0050	5.35
65	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	57.93	2149	0.0014	1.45
66	C ₁₈ H ₃₃ ClO	58.09	2170	0.0007	0.70
67	C ₁₉ H ₃₂ O ₂	58.23	2188	0.0010	1.10
68	C ₂₂ H ₄₆	58.34	2200	0.0010	1.06
69	C ₂₃ H ₄₈	59.02	2300	0.0073	7.78
70	C ₂₄ H ₅₀	59.63	2400	0.0002	0.27
71	C ₂₅ H ₅₂	60.34	2500	0.0008	0.81
72	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	60.78	2554	0.0008	0.85
73	C ₂₈ H ₅₈	62.31	2704	0.0005	0.52

Наибольшими концентрациями, соответственно долями от общего содержания веществ обладают следующие вещества:

1. Гексадеканал (20%);
2. [1S-[1 α (R*),4A β ,8A α]]- α -этенилдекагидро- α ,5,5,8A-тетраметил-2-метилен-1-нафталенпропанол (10.63%);
3. n-Гексадекановая кислота (10.30%);
4. Генийкозан (8.81%);
5. Трикозан (7.78%).

Среди веществ, концентрация которых высока, можно выделить жирные кислоты (n-гексадекановая (RT = 56.41), тетрадекановая (RT = 51.93), октадекадиеновая (RT = 57.93)), нонадекан (RT = 55.39), генийкозан (RT = 57.58), докозан (RT = 58.34), трикозан (RT = 9.02), фитол (RT = 57.69), транс- β -ионон (RT = 41.36).

В отличие от предыдущих проб фитол не входит в пятёрку веществ, наибольших по концентрации, тем не менее он представлен в данной пробе в значительном количестве - 5.35%. По-прежнему в значительных количествах присутствуют жирные кислоты, в частности n-гексадекановая кислота. Содержание β -ионона превышает 1% в отличие от ранее рассмотренных проб.

Среди веществ с низкой концентраций также можно выделить некоторые соединения. Присутствуют уже упомянутые для других проб 2-гептанон (RT = 5.61), 2-пентилфуран (RT = 10.20), герани ацетон (RT = 40.33). Присутствуют фталаты, представленные дибудил фталатом (RT = 56.20) и бис(2-этилгексил)фталатом (RT = 60.78).

Отличительной особенностью пробы является присутствие в ней, хоть и в небольшом количестве (0.07%), фторсодержащего соединения транс-2-додецен-1-ол, гептафлуоро-бутират (RT = 33.11), являющегося производным масляной кислоты.

4.4 Компонентный состав элодеи канадской в озере Ладожское

По результатам проведенного хромато-масс-спектрометрического анализа эфирного масла *E. canadensis* в озере Ладожское было выявлено 61 НОС, из которых не было идентифицировано 4 вещества с временем выхода 8.52, 11.66, 14.78, 64.11 (Рис. 11).

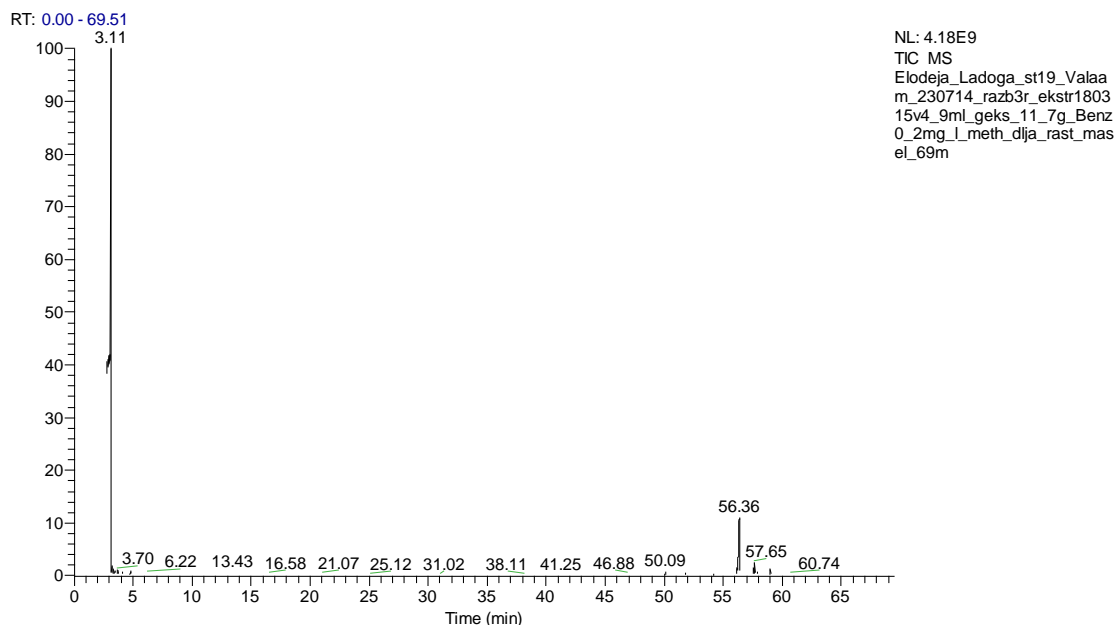


Рис. 11. Общий вид хроматограммы *E.canadensis Michx.* из озера Ладожское.

Данные по компонентному составу ЛНОВ эфирного масла *E.canadensis Michx.* из озера Ладожское приведены в таблице 6. В пробе выявлено 37 специфических соединений среди которых серосодержащие соединения: S-метилловый эфир бутандиовой кислоты (RT = 10.08), 1-гептантиол (RT = 13.04), 1-(метилтио)-3-пентанон (RT = 15.62), бензотиазол (RT = 25.12); карбоновые кислоты: гексадекановая (RT = 56.36), додекановая (RT = 45.31); 1-хлорогексан (RT = 3.30), 1-гексанол (RT = 5.34), диизопропил(пропил)фосфин (RT = 8.18), дигидроактинидиолид (RT = 42.49) и другие соединения.

В пробе обнаружено производное фосфина (0.45%). Фосфин - это бесцветный ядовитый газ со специфическим неприятным запахом. Фосфины - его органические производные - представляют собой жидкости с сильным своеобразным запахом. Они также ядовиты [2].

Выявленный в пробе 1-гексанол (0.69%) обладает антимикробным и фунгицидным действием [4].

Также в пробе было выявлено хлорсодержащее соединение 1-хлорогексан. Его доля составила 1.72%. В двух предыдущих пробах *E. canadensis Michx.* хлорсодержащие соединения были найдены в суммарных количествах, не превышающих 1% от общего содержания веществ и были представлены несколькими веществами в каждой пробе.

Ещё одно специфическое вещество для данной пробы - дигидроактинидиолид. Доля его содержания 0.32% от общего содержания веществ. Это соединение известно как актив-

ный аллелохимический агент, выделяемый в воду *Eleocharis spp.* и ингибирующий рост других водных растений, особенно водорослей [6]. Кроме того, оно содержится во многих наземных растениях. Обладая привлекательным слегка холодящим запахом выступает в качестве феромона для насекомых, и даже для кошачьих [7]. Данное соединение участвует в синтезе и распаде каратиноидов [5].

Важным отличием данной пробы от трёх, рассмотренных ранее, является обнаружение в ней серосодержащих соединений. Найдено четыре метаболита с суммарной долей 2.75%. Серосодержащие метаболиты растений и их функции в пресноводных экосистемах изучены ещё слабо, скорее всего, они играют определённую роль аллелогенов [9].

Таблица 6. Компонентный состав эфирного масла из побегов *E. canadensis Michx.*

(23/07/2014, оз. Ладожское, о. Валаам, Ленинградская область)

(RT – время удерживания, мин; IK – индекс Ковача;

% – доля вещества в эфирном масле;

C_{сп} – концентрация вещества в сухом растении, мг/г).

	Формула	RT	IK	C _{сп}	%
1	C ₆ H ₁₃ Cl	3.30	808	0.0001	1.72
2	C ₆ H ₁₂ O	3.70	822	0.0001	1.84
3	C ₆ H ₁₀ O	4.79	863	0.0001	1.89
4	C ₆ H ₁₂ O	4.93	868	0.0000	0.22
5	C ₁₁ H ₂₄	5.28	881	0.0000	0.29
6	C ₆ H ₁₄ O	5.34	883	0.0000	0.69
7	C ₇ H ₁₂ O	6.22	909	0.0000	0.79
8	C ₁₀ H ₁₈ O	6.45	914	0.0000	0.31
9	C ₉ H ₂₁ P	8.18	951	0.0000	0.45
10	Неидентифицированное вещество	8.52	959	0.0000	0.65
11	C ₈ H ₁₄ O ₂	9.51	980	0.0000	0.50
12	C ₇ H ₁₀ O	9.75	985	0.0000	0.60
13	C ₉ H ₁₂	9.98	990	0.0000	0.43
14	C ₅ H ₁₀ OS	10.08	992	0.0000	0.58
15	C ₆ H ₁₄ N ₂	10.30	997	0.0002	3.32
16	C ₇ H ₁₀ O	11.15	1012	0.0000	0.45
17	Неидентифицированное вещество	11.66	1020	0.0000	0.39
18	C ₁₂ H ₂₆	11.92	1024	0.0000	0.43
19	C ₉ H ₁₈ O	12.61	1035	0.0000	0.28
20	C ₈ H ₈ O	12.78	1038	0.0001	1.42
21	C ₇ H ₁₆ S	13.04	1042	0.0000	0.46
22	C ₄ H ₄ N ₂ O ₂	13.43	1048	0.0001	1.96
23	C ₁₂ H ₂₆	14.17	1060	0.0000	0.57

24	C ₆ H ₁₂ N ₂	14.38	1064	0.0001	1.42
25	Неидентифицированное вещество	14.78	1070	0.0000	0.60
26	C ₆ H ₁₂ OS	15.62	1084	0.0000	0.67
27	C ₈ H ₁₆ O	16.58	1099	0.0001	1.66
28	C ₅ H ₆ N ₂ O ₂	19.48	1134	0.0001	2.10
29	C ₈ H ₁₆ O ₂	21.07	1154	0.0001	1.73
30	C ₉ H ₁₆ O	23.30	1183	0.0000	0.78
31	C ₇ H ₅ NS	25.12	1206	0.0001	1.04
32	C ₁₀ H ₁₇ NO	26.84	1228	0.0000	0.21
33	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	31.02	1282	0.0000	0.22
34	C ₁₂ H ₂₂ O ₄	35.38	1351	0.0000	0.27
35	C ₁₄ H ₃₀	38.11	1400	0.0000	0.20
36	C ₁₃ H ₂₀ O	41.25	1478	0.0000	0.39
37	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	42.49	1508	0.0000	0.32
38	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	45.31	1572	0.0000	0.71
39	C ₁₄ H ₃₀ O	49.04	1677	0.0000	0.29
40	C ₁₈ H ₃₈	49.71	1700	0.0000	0.16
41	C ₁₆ H ₃₂ O	50.09	1710	0.0001	1.92
42	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	51.77	1765	0.0001	2.09
43	C ₁₇ H ₃₂ O ₂	54.08	1849	0.0000	0.18
44	C ₁₇ H ₃₂ O ₂	54.22	1855	0.0001	0.89
45	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	54.75	1876	0.0000	0.77
46	C ₁₆ H ₃₂	54.98	1885	0.0000	0.24
47	C ₁₇ H ₂₈ O ₂	55.14	1892	0.0000	0.23
48	C ₁₉ H ₄₀	55.33	1900	0.0000	0.23
49	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	55.58	1918	0.0000	0.21
50	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	55.98	1950	0.0001	1.22
51	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	56.16	1964	0.0004	6.00
52	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	56.36	1979	0.0026	43.05
53	C ₂₁ H ₄₄	57.54	2100	0.0001	2.06
54	C ₂₀ H ₄₀ O	57.65	2113	0.0002	3.97
55	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	57.88	2143	0.0001	0.88
56	C ₁₉ H ₃₂ O ₂	58.19	2183	0.0000	0.14
57	C ₂₂ H ₄₆	58.31	2200	0.0000	0.23
58	C ₂₃ H ₄₈	58.98	2300	0.0001	1.80
59	C ₂₆ H ₅₄	60.30	2499	0.0000	0.14
60	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	60.74	2549	0.0000	0.48
61	Неидентифицированное вещество	64.11	2826	0.0000	0.21

Наибольшими концентрациями, соответственно долями от общего содержания веществ обладают следующие вещества:

1. Гексадекановая кислота (43.05%);
2. n-Гексадекановая кислота (6.00%);

3. Фитол (3.97%);
4. N,N'-диметил-2-бутен-1,4-диамин (3.32%);
5. 6-Метилурацил (2.10%).

Среди веществ, концентрация которых высока, можно выделить жирные кислоты (гексадекановая (RT = 56.36), n-гексадекановая (RT = 56.16), тетрадекановая (RT = 51.77), цис-9-гексадеценная (RT = 55.98)), N,N'-диметил-2-бутен-1,4-диамин (RT = 10.30), фитол (RT = 57.65), урацил (RT = 13.43), генойкозан (RT = 57.54), трикозан (RT = 58.98), гексаналь (RT = 3.70).

Гексаналь участвует в регулирующих реакциях растений, включая формирование механизмов защиты от внешних повреждений, защиту от растительноядных организмов [6]. Также гексаналь проявляет антимикробное и фунгицидное действие [4].

В числе лидирующих по концентрации соединений в данной пробе присутствуют в основном специфические вещества пробы, что отличает её от ранее рассмотренных. Стоит отметить, что по количеству специфических веществ в процентном отношении от общего количества веществ в пробе лидирует проба из оз. Унтербахер-Зее, Германия:

1. *E. nuttallii* - 60.92% (53 специфических вещества из 87 обнаруженных);
2. *E. canadensis* Michx., оз. Большое Боровское - 49.31% (36 специфических вещества из 73 обнаруженных);
3. *E. canadensis* Michx., оз. Безымянное - 49.31% (36 специфических вещества из 73 обнаруженных);
4. *E. canadensis* Michx., оз. Ладожское - 60.66% (37 специфических вещества из 61 обнаруженных).

4.5. Сравнение и оценка различий в составе НОС элодеи Натталя и элодеи канадской, произрастающих в водоёмах различных географических регионов

Был произведен сравнительный анализ хромато-масс-спектрограмм и компонентного состава эфирных масел элодеи Натталя из оз. Унтербахер-Зее (Германия) и элодеи канадской из озёр Большое Боровское, Безымянное (Карельский перешеек), оз. Ладожское (Ленинградская область).

В ходе анализа проб было выявлено значительное число алканов во всех пробах, от 11 до 18 соединений. Ряд из них являются общими для всех проб: тетрадекан, нонадекан, генойкозан, докозан, трикозан. Суммарное содержание алканов в пробах варьируется. В пробе из оз. Унтербахер-Зее содержание алканов составляет 6.6% (18 соединений), в пробе из оз. Большое Боровское - 33.62% (18 соединений), в пробе из оз. Безымянное - 22.33% (11 соединений), в пробе из оз. Ладожское - 8.07% (12 соединений).

Обнаружение алканов в водной среде часто считается обусловленным антропогенным происхождением. Однако, несомненно, что и растения в природных условиях их синтезируют. Тетрадекан является как природным, так и антропогенным соединением, которое используют в качестве растворителя и синтетического промежуточного продукта. Это вещество попадает в окружающую среду в виде выбросов летучих веществ, выхлопов автомобилей, сточных вод, свалок и промышленных отходов [1].

Додекан используют в качестве растворителя, в органическом синтезе. Это соединение является отходом резиновой и бумажной промышленности; кроме того, они входят в состав нефтепродуктов. Эфирное масло *Anthemis altissima*, в составе которого находился трикозан, проявляло антимикробную активность по отношению к видам бактерий *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus epidermidis*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* [1].

Ещё один важный класс соединений, обнаруженный во всех пробах - жирные кислоты. В пробах их насчитывается от пяти до восьми соединений. Несмотря на относительно малое число выявленных соединений доля жирных кислот от общего содержания веществ велика. В двух пробах она составляет больше половины всех веществ (в пробе из оз. Унтербахер-Зее - 60.38%, в пробе из оз. Большое Боровское - 16.06%, в пробе из оз. Безымянное - 14.32%, в пробе из оз. Ладожское - 54.94%). Общими для всех проб являются тетрадекановая, пентадекановая и n-гексадекановая кислоты.

По-видимому, жирные кислоты играют защитную роль [8]. Показано, что среди аллелохимических веществ, выделяемых *Myriophyllum spicatum* L. против цианобактерий, ведущую роль играют жирные кислоты [4].

Во всех пробах был найден β -ионон. В пробе из оз. Унтербахер-Зее его содержание 0.75%, в пробе из оз. Большое Боровское - 0,76%, в пробе из оз. Безымянное - 1,81%, в пробе из оз. Ладожское - 0,39%. Вещества группы иононов, по-видимому, могут выполнять различные функции в водных и наземных растениях, в том числе защищать от ультрафиолетовой радиации, контролировать развития окружающих организмов в ходе аллелопатических взаимодействий [7]. Также β -ионон участвует в синтезе и распаде каротиноидов (20).

Также во всех исследованных пробах был выявлен ациклический дитерпеновый спирт фитол в значительных концентрациях. В пробе из оз. Унтербахер-Зее его содержание 3.96% от общего содержания веществ, в пробе из оз. Большое Боровское - 5.89%, в пробе из оз. Безымянное - 5.35%, в пробе из оз. Ладожское - 3.97%. Фитол, по-видимому, играет защитную/отпугивающую роль против водных насекомых и растительноядных личинок. Это вещество имеет также важное косметологическое, фармакологическое и медицинское значение [7]. Фитол обладает выраженной антибактериальной активностью [8].

Комплекс мажорных компонентов эфирного масла элодеи изменяется в зависимости от места произрастания (табл. 7). Единственно вещество, присутствующее в комплексе мажорных компонентов всех четырёх проб - это n-гексадекановая кислота.

Таблица 7. Относительное содержание (%) мажорных компонентов эфирного масла элодеи в водоёмах разных географических регионов.

E. nuttallii		Оз. Б. Боровское		Оз. Безымянное		Оз. Ладожское	
Вещество	%	Вещество	%	Вещество	%	Вещество	%
n-Гексадекановая кислота	41.29	Пентадеканал	17.94	Гексадеканал	20.00	Гексадекановая кислота	43.05
(Z,Z)-9,12-Октадекадиеновая кислота	11.19	Генейкозан	13.48	[1S-[1α(R*),4Aβ, 8Aα]]-α-этенилдекагидро-α,5,5,8A-тетраметил-2-метилен-1-нафталенпропанол	10.63	n-Гексадекановая кислота	6.00
Бис(2-этилгексил)фталат	5.50	n-Гексадекановая кислота	12.16	n-Гексадекановая кислота	10.30	Фитол	3.97
Тетрадекановая кислота	4.13	Трикозан	12.09	Генейкозан	8.81	N,N'-диметил-2-бутен-1,4-диамин	3.32
Фитол	3.96	Фитол	5.89	Трикозан	7.78	6-Метилурацил	2.10

Для более полной оценки качественного состава вторичных метаболитов *E. nuttallii* и *E. canadensis Michx.* в водоёмах различных географических регионов был высчитан коэффициент сходства Жаккара (табл. 8), оценивающий степень сходства компонентного состава НОС *E. nuttallii* и *E. canadensis Michx.* по присутствию/отсутствию соединений в эфирном масле различных проб. Значения коэффициента изменяются в интервале от 0 до 1, увеличиваясь по мере увеличения сходства, и рассчитывается по формуле:

$$J = c / (a + b - c), \text{ где}$$

c – число общих соединений для 2-х проб;

a – соединения, присутствующие в 1-й пробе;

b – соединения, присутствующие во 2-ой пробе.

В пробе из оз. Унтербахер-Зее присутствует 87 НОС, в пробе из оз. Б. Боровское - 73 НОС. Общими оказались 25 соединений. Проба из оз. Унтербахер-Зее характеризуется наличием 53 специфических соединений, проба из оз. Большое Боровское - 36 специфических соединений. Таким образом коэффициент Жаккара равен $J = 25 / (87 + 73 - 25) = 0.18$.

Аналогично коэффициент Жаккара был рассчитан для проб из оз. Унтербахер-Зее и оз. Безымянное. В пробе из оз. Безымянное обнаружено 73 НОС. Она характеризуется 36

специфическими соединениями. Общими для указанных проб оказались 27 соединений. Следовательно, коэффициент Жаккара $J = 27/(87+73 - 27) = 0.20$.

Таким же образом было проведено сравнение проб из оз. Унтербахер-Зее и оз. Ладожское. В последней насчитывается 61 НОС, из которых 37 специфических. Общими для обоих проб являются 19 соединений. Соответственно, коэффициент Жаккара составляет $J = 19/(87+61 - 19) = 0.15$.

У проб из оз. Большое Боровское и оз. Безымянное общих веществ оказалось 30. Коэффициент Жаккара $J = 30/(73+73 - 30) = 0.26$.

У проб из оз. Большое Боровское и оз. Ладожское общих веществ насчитывается 17. Коэффициент Жаккара $J = 17/(73+61 - 17) = 0.14$.

У проб из оз. Безымянное и оз. Ладожское число общих соединений составляет 15. Коэффициент Жаккара $J = 15/(73+61 - 15) = 0.13$.

Таблица 8. Коэффициент сходства исследованных образцов по индексу Жаккара.

Место отбора	оз. Унтербахер-Зее	оз. Б. Боровское	оз. Безымянное	оз. Ладожское
оз. Унтербахер-Зее	-	0.18	0.20	0.15
оз. Б. Боровское	-	-	0.26	0.14
оз. Безымянное	-		-	0.13

Из таблицы видно, что наибольшим сходством состава вторичных метаболитов обладают пробы из озёр Большое Боровское и Безымянное. Это можно объяснить их наиболее близким расположением друг к другу. Из таблицы также видно, что для Ладожского озера коэффициенты Жаккара ниже, чем для других озёр. Возможно это говорит о своеобразии условий данного озера.

Наравне с коэффициентом Жаккара в экологии часто используется коэффициент общности Сьеренсена (табл. 9), рассчитывающийся по формуле:

$$QS = 2c / (a + b), \text{ где:}$$

c – количество общих веществ в 2-х пробах;

a – количество веществ в пробе 1;

b – количество веществ в пробе 2.

Соответственно, для проб из озёр Унтербахер-Зее и Большое Боровское $QS = 2 * 25 / (87 + 73) = 0.31$. Для озёр Унтербахер-Зее и Безымянное $QS = 2 * 27 / (87 + 73) = 0.34$. Для озёр Унтербахер-Зее и Ладожское $QS = 2 * 19 / (87 + 61) = 0.26$. Для озёр Большое Боровское и Безымянное $QS = 2 * 30 / (73 + 73) = 0.41$. Для озёр Большое Боровское и Ладожское $QS = 2 * 17 / (73 + 61) = 0.25$. Для озёр Безымянное и Ладожское $QS = 2 * 15 / (73 + 61) = 0.22$.

Таблица 9. Коэффициент исследованных образцов по индексу общности Сьеренсена.

Место отбора	оз. Унтербахер-Зее	оз. Б. Боровское	оз. Безымянное	оз. Ладожское
оз. Унтербахер-Зее	-	0.31	0.34	0.26
оз. Б. Боровское	-	-	0.41	0.25
оз. Безымянное	-		-	0.22

Исследование сходства компонентного состава эфирных масел *E. nuttallii* и *E. canadensis Michx.* в водоёмах различных географических территорий на основе коэффициента общности Сьеренсена дало те же результаты, что и анализ сходства образцов на основе коэффициента Жаккара.

Как видно из таблиц, коэффициенты сходства по всему спектру веществ достаточно низкие. Это, наряду с неоднородностью качественного состава мажорных компонентов, может говорить о значительном влиянии географического положения водоёма на состав вторичных метаболитов *E. canadensis Michx.*, так как даже у растений из двух озёр, расположенных в одной и той же части Карельского перешейка, коэффициенты сходства хоть и самые высокие по сравнению с другими парами проб, но всё же не составляют и 50 процентов.

Заключение

В ходе выполнения работы был изучен состава метаболитов *Elodea canadensis* Michx. и *Elodea nuttallii* (Planch.) в водоемах различных географических регионов, произведена сравнительная характеристика метаболитного состава эфирных масел данных растений, которая показала значительные различия у растений, отобранных в разных озёрах. Отличалось число веществ, выявленных в ходе исследования - от 61 до 83 НОС. Значительные различия имеются и в составе эфирных масел. Общими для всех проб являются только 11 веществ. В составе эфирных масел проб из озёр Большое Боровское и Безымянное преобладали предельные углеводороды – алканы. В составе эфирных масел проб из озёр Унтербахер-Зее и Ладожское преобладающим классом соединений являются жирные кислоты (до 61%). Оценка качественно состава вторичных метаболитов, проведённая на основе коэффициентов сходства Жаккара и Сьеренсена, также показала низкую степень сходства проб. Коэффициенты изменяются от 0.13 до 0.26 в первом случае, и от 0.22 до 0.41 во втором случае.

На основе полученных данных был сделан вывод, что на компонентный состав вторичных метаболитов *Elodea canadensis* Michx. и *Elodea nuttallii* (Planch.) географическое положение оказывает значительное влияние, что обуславливает его значительные различия даже у растений одного вида.

Список литературы

1. Батаева Ю.В., Курашов Е.А., Крылова Ю.В. Хромато-масс-спектрометрическое исследование экзогенных метаболитов альго-бактериальных сообществ в накопительной культуре // Вода: химия и экология, 2014. №9 С. 58-67.
2. Каррер П. Курс органической химии / Под ред. М. Н. Колосова. Л.: государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1960, 1216 с.
3. Кирпенко Н.И., Курашов Е.А., Крылова Ю.В. Компонентный состав экзаметаболитов в культурах некоторых водорослей // Гидробиологический журнал, 2012. Т. 48. №1 С.65-78.
4. Курашов Е.А., Крылова Ю.В., Митрукова Г.Г. Динамика компонентного состава эфирного масла побегов *Potamogeton pussilus* (Potamogetonaceae) в течение вегетации // Растительные ресурсы, 2013. Т. 49. Вып. 1. С. 85 – 103.
5. Курашов Е.А., Крылова Ю.В., Митрукова Г.Г. Компонентный состав летучих низкомолекулярных органических веществ *Ceratophyllum demersum* L. во время плодоношения // Вода: химия и экология, 2012. №6 С. 107-116.
6. Курашов Е.А., Крылова Ю.В., Митрукова Г.Г., Чернова А.М. Летучие низкомолекулярные метаболиты водных макрофитов, произрастающих на территории России, и их роль в гидрэкосистемах // Сибирский экологический журнал, 2014. №4 С. 573-591.
7. Курашов Е.А., Крылова Ю.В. Низкомолекулярные вторичные метаболиты высших водных растений и перспективы управления автотрофным звеном в водных экосистемах // Биология внутренних вод: Материалы XV Школы-конференции молодых учёных (Борок, 19–24 октября 2013 г.). Кострома: ООО «Костромской печатный дом», 2013. С. 29-60.
8. Курашов Е.А., Крылова Ю.В., Чернова А.М., Митрукова Г.Г. Компонентный состав летучих низкомолекулярных органических веществ *Nuphar lutea* (Nymphaeaceae) в начале вегетационного сезона // Вода: химия и экология, 2013. №5 С.67-80.
9. Курашов Е.А., Митрукова Г.Г., Крылова Ю.В. Компонентный состав эфирного масла *Ceratophyllum demersum* (Ceratophyllaceae) в течение вегетации // Растительные ресурсы, 2014. Вып. 1. С. 132-144.
10. Свойства органических соединений. Справочник / Под ред. А. А. Потехина. Л.: Химия, 1984, 520 с.
11. Телитченко М. М., Остроумов С. А. Введение в проблемы биохимической экологии: Биотехнология, сельское хозяйство, охрана среды. М.: Наука, 1990, 288 с.
12. Курашов Е. А. Аллелопатия и перспективы управления первичным автотрофным звеном в водных экосистемах. Открытый университет. <http://www.tv100.ru/video/view/allelopatiya-i->

perspektivy-upravleniya-pervichnym-avtotrofny-m-zvenom-v-vodnyh-ekosistemah-kurashov-e-104571/

Ресурсы сети Интернет:

1. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Элодея_канадская
2. URL: <http://www.bookblack.ru/plant/33.htm>
3. URL: <http://www.bookblack.ru/areal/33.htm>
4. URL: <http://природа.рф/grasses/elodeya.php>
5. URL: <http://www.aqua55.ru/descr/id/332>
6. URL: <https://sites.google.com/site/efimovageo/metod-razrabotki/publikacii>
7. URL: <http://russian-fishing.net/ozero-borovskoe-pos-borovoe/>
8. URL:
https://ru.wikipedia.org/wiki/Ладожское_озеро#.D0.A4.D0.B8.D0.B7.D0.B8.D0.BA.D0.BE-.D0.B3.D0.B5.D0.BE.D0.B3.D1.80.D0.B0.D1.84.D0.B8.D1.87.D0.B5.D1.81.D0.BA.D0.B0.D1.8F_.D1.85.D0.B0.D1.80.D0.B0.D0.BA.D1.82.D0.B5.D1.80.D0.B8.D1.81.D1.82.D0.B8.D0.BA.D0.B0
9. URL: <http://www.bavtur.ru/region/c0e90>
10. URL: https://de.m.wikipedia.org/wiki/Unterbacher_See
11. URL: <http://lektsii.com/13-11544.htm>
12. URL: http://www.bio.bsu.by/fbr/files/05_plant_biochemistry.pdf
13. URL: <http://xreferat.com/112/2263-1-ekologo-biohimicheskie-issledovaniya-v-model-noiy-vodnoiy-ekosisteme.html>
14. URL: <http://stud24.ru/ecology/adaptivnye-strategii-i-nakoplenie-vtorichnyh/344030-1038618-page2.html>
15. URL: <http://www.ronl.ru/referaty/raznoe/516040/>
16. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2530173>
17. URL: <http://www.bookblack.ru/areal/33.htm>
18. URL: <http://chemister.ru/Database/properties.php?dbid=1&id=3281>